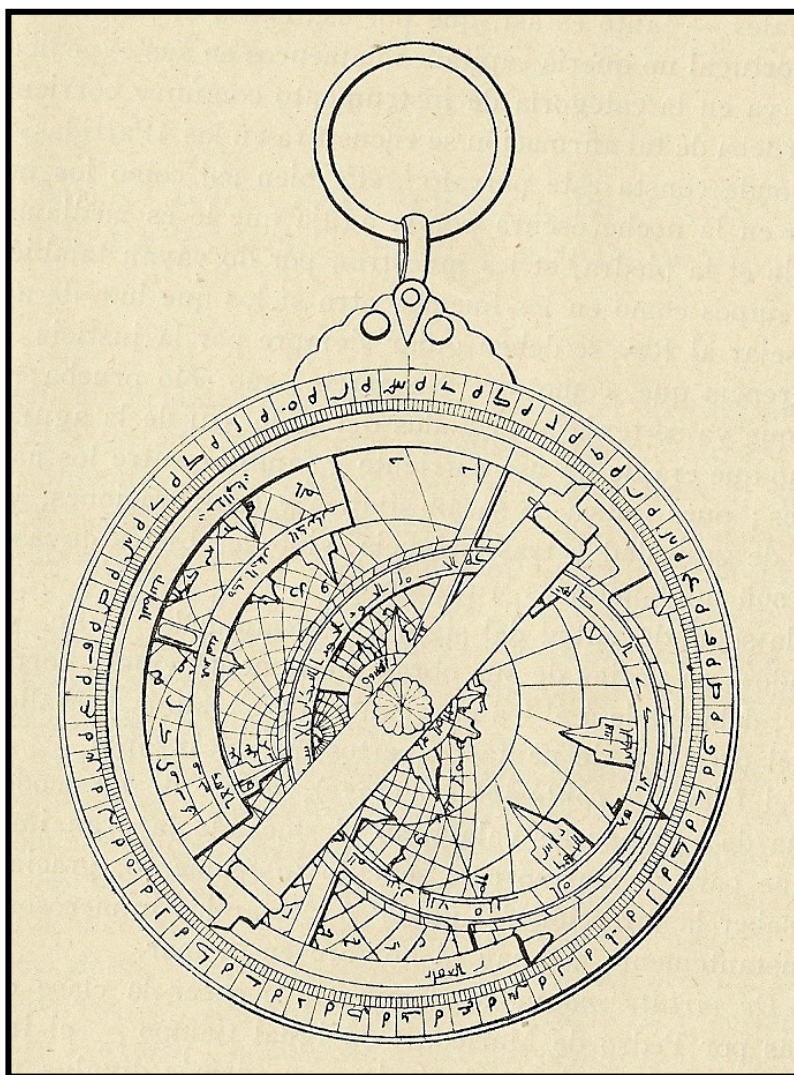


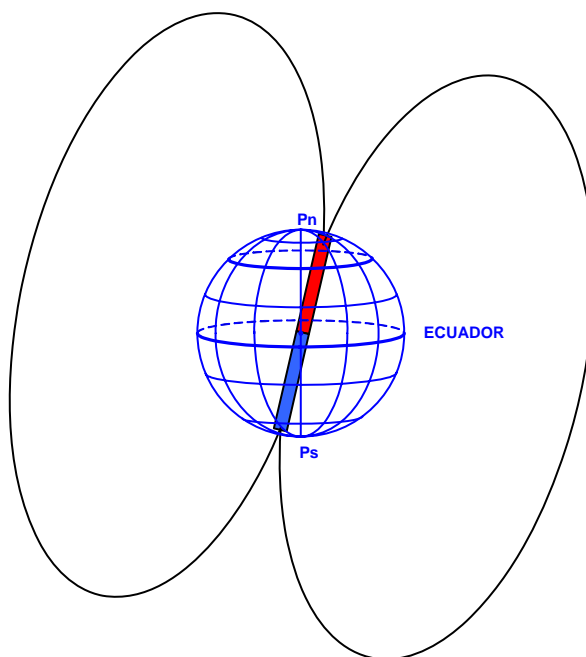
CURSO PARA LA OBTENCION DE LA TITULACION DE PATRON PORTUARIO**AYUDAS NAUTICAS Y EQUIPOS DE NAVEGACION****MODULO II**

MÓDULO 2 – AYUDAS NAUTICAS Y EQUIPOS DE NAVEGACION**1. AGUJAS MAGNETICA Y GIROSCOPICA****1.1. Magnetismo. Compás magnético**

El compás magnético es uno de los instrumentos de navegación más antiguos de los que se conocen. Aunque de origen desconocido, parece ser que los vikingos lo empleaban ya desde el siglo X; aproximadamente en esa época era también desarrollado, aparentemente de manera independiente, por los chinos. Inicialmente debía consistir en un trozo de mineral puesto sobre un pedazo de madera dentro de un cuenco con agua que, al flotar libremente, se orientaba en la dirección norte-sur. Posteriormente se sustituyó el trozo de mineral por una aguja de hierro dulce que se “cargaba”, es decir se imantaba rozándola con un trozo de piedra de carga (*magnetita*). Durante siglos se fue desarrollando y perfeccionando hasta los compases que se emplean hoy en día.

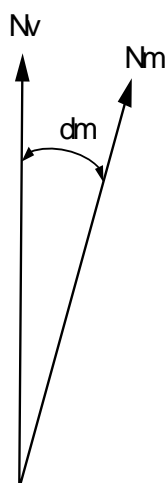
1.2. Magnetismo terrestre: declinación magnética.

La Tierra se comporta como un imán, es más fácil de entender si se visualiza la Tierra como si tuviera un imán en su interior. Este imán no está alineado con el eje de rotación de la Tierra, la consecuencia de esto es que los polos magnéticos no están en situados en el mismo lugar que los polos geográficos, y además la localización de los polos magnéticos varía con el tiempo.



Se llama variación o declinación magnética (dm) a la diferencia, en cualquier localización y momento, entre la dirección del norte geográfico y el norte magnético. Se dice que la declinación magnética es oeste cuando la aguja del compás magnético apunta hacia el oeste del norte verdadero o geográfico, y declinación este cuando apunta hacia el este del norte verdadero. Es decir que la declinación magnética es importante para el marino porque la aguja magnética, respondiendo al campo magnético de la Tierra, se orienta dando un error sobre el norte verdadero que tiene como valor la declinación magnética en el lugar. En algunas zonas la declinación es cero, con lo cual coinciden el norte magnético y el norte geográfico o verdadero. La declinación magnética y su variación anual viene indicada en las cartas, de manera que las direcciones y rumbos indicados por la aguja magnética pueden ser corregidos a sus valores verdaderos. Ya que la declinación magnética es causada por el campo magnético de la Tierra, su valor cambia con la localización del barco, pero es la misma para todas las direcciones de la proa del buque.

La fórmula para poder calcular el norte verdadero a partir del norte magnético (y en consecuencia toda otra dirección obtenida mediante un compás magnético) sería:



$$Nv = Nm + dm$$

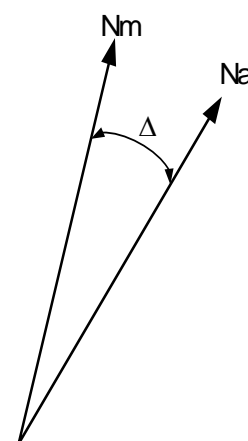
Dm: E(+) W(-)

la **declinación magnética** que es positiva hacia el este y negativa hacia el oeste, viene dada en las cartas para un año concreto y por lo tanto se debe actualizar; mediante el incremento o decremento anual o annuo, que viene indicado juntamente a la declinación magnética en la carta. Primero se calcula el número de años transcurridos desde el año para el cual viene indicada la declinación magnética, hasta el año que interese, normalmente el año en curso; este número se multiplica por el incremento o decremento annuo, y el resultado se suma, si es incremento, o se resta, si es decremento, la variación o declinación magnética. Luego se aplica el signo a la declinación magnética (+ ó -) y con ello se puede calcular el norte verdadero a partir del magnético o viceversa.

1.3. Compás magnético. Desvío. Corrección total.

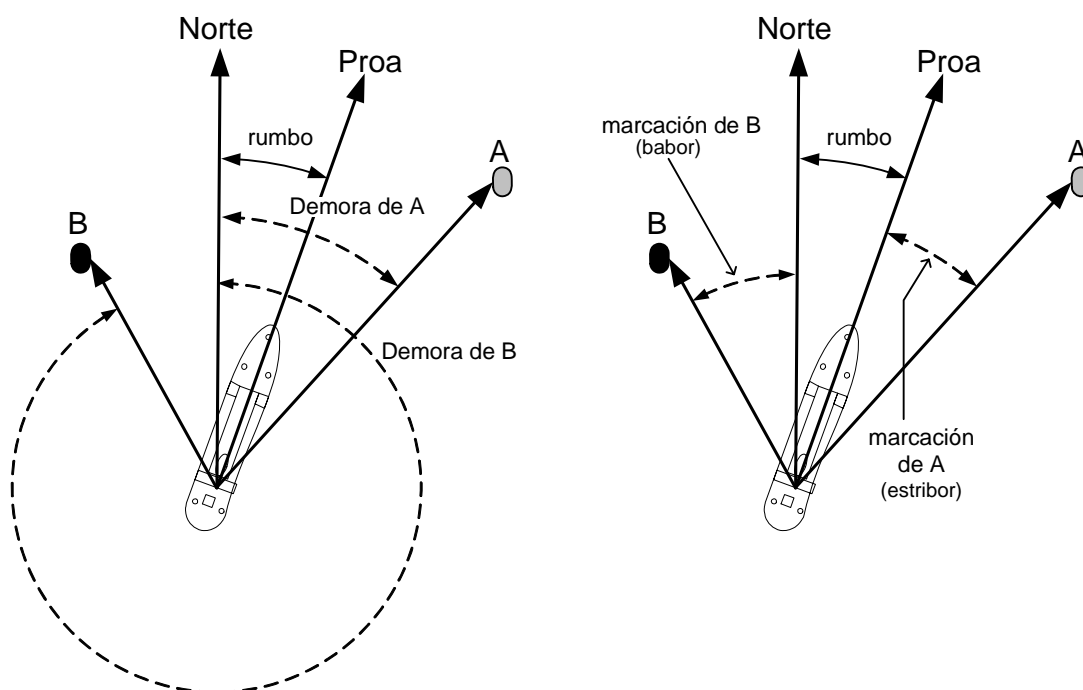
Cuando se instala un compás magnético a bordo debe cuidarse que la línea de fe (línea que indica la dirección de la proa del barco) esté alineada con la línea de crujía (línea que une la proa y la popa del barco y lo divide en dos mitades longitudinales, estribor y babor). Si la aguja del compás no se viera afectada por ningún elemento que le produjera perturbaciones magnéticas, la aguja marcaría el norte magnético; la dirección indicada por la línea de fe sería la dirección de la proa del buque con respecto al norte magnético. Cuando el buque vira, la línea de fe gira con él, mientras que la aguja del compás se mantiene alineada con el norte magnético (realmente al norte de aguja), de manera que la dirección de la proa es indicada por la línea de fe. Hay que recordar que es la línea de fe la que gira y no la aguja del compás.

Una aguja de compás que pueda girar libremente se alineará con las líneas del campo magnético de la Tierra, apuntando al norte magnético. Pero en cualquier buque que existan campos magnéticos debidos a aparatos eléctricos o a materiales magnéticos como el hierro o el acero, la aguja se verá afectada debido a las divergencias causadas por estos materiales y tiende a ser desviada del norte magnético. El ángulo de diferencia entre la dirección que marca la aguja y la dirección del norte magnético se llama desvío, y la diferencia de la declinación magnética no es igual para todas las direcciones de la proa del barco. Debido a que el desvío depende de las características intrínsecas del buque, y a que cada buque tiene un desvío diferente para cada dirección de la proa, cada buque debe poseer una tablilla de desvíos indicando el desvío correspondiente para cada dirección de la proa o rumbo, aunque mínimo ha de poseer una tablilla que indique el desvío cada 15°, los otros rumbos se interpolan.



Al igual que para el caso de la declinación magnética el desvío se puede presentar al Este (positivo, +) o al Oeste (negativo, -) del Norte magnético. Es decir que una dirección o rumbo se puede establecer con respecto a los meridianos geográficos, que apuntan al Norte verdadero; con respecto a los meridianos magnéticos, que apuntan al Norte magnético; y con respecto a la línea de fe del compás como medida de referencia, que apunta al llamado Norte de aguja.

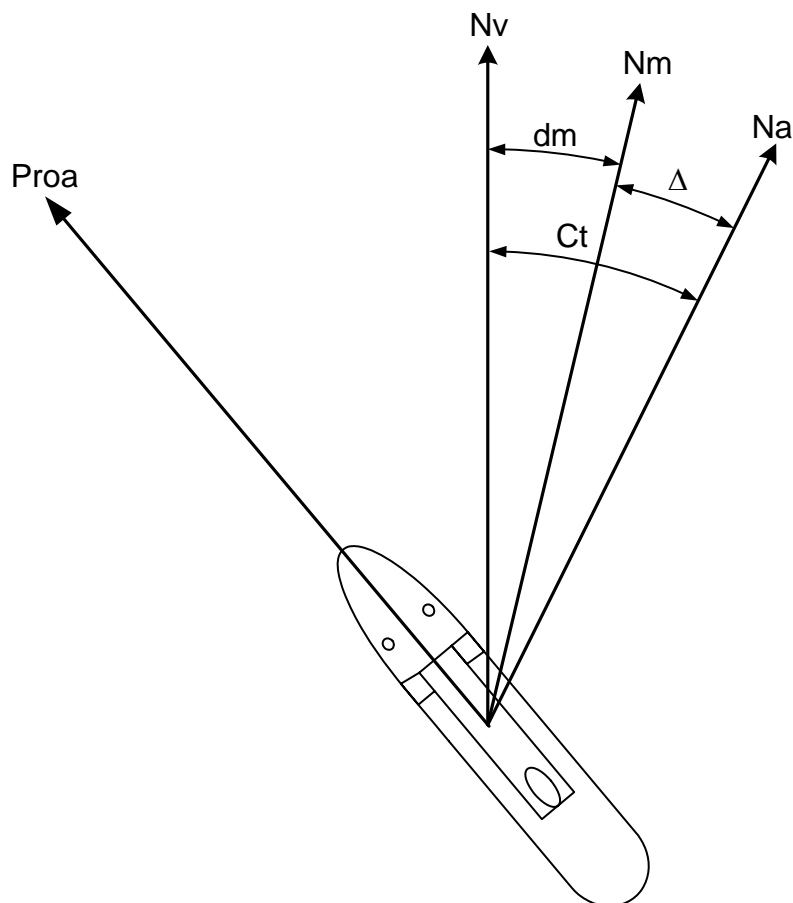
DEMORA Y MARCACIÓN



Llamamos rumbo es la dirección de la línea de proa-popa del barco, es decir es el ángulo que forma la dirección de la proa del barco con el norte; existen varias maneras de contarlo, la forma más habitual es de 0° a 360° con aproximaciones al medio grado por razones prácticas, en la dirección de las agujas del reloj. Dependiendo a qué Norte esté referido el rumbo tenemos: rumbo verdadero, referido al Norte verdadero o geográfico; rumbo magnético referido al Norte magnético; y por último rumbo de aguja, referido al Norte de la aguja.

Demora es la dirección o ángulo en la que se encuentra un objeto observado desde el buque con respecto al Norte, contado de 0° a 360° en la dirección de las agujas del reloj. Al igual que el rumbo la demora también puede ser demora verdadera, magnética y de aguja.

Marcación es la dirección en la que se encuentra un objeto observado desde el buque, con respecto a la dirección de la proa del mismo. A veces se le llama demora relativa. La marcación no se ve afectada por el magnetismo del buque ya que no tiene de referencia el norte sino la proa del buque, y para tomarla se emplea normalmente un taxímetro. Al tomarla debemos expresar si es hacia babor o hacia estribor.



Errores del compás y sus correcciones

Como cualquier dirección o rumbo se puede expresar en cualquiera de estos sistemas de referencia, debemos tener en cuenta lo siguiente:

- La diferencia entre el rumbo verdadero y el magnético es la declinación magnética (dm)

$$Rv = Rm + dm$$

- La diferencia entre el rumbo magnético y el de aguja es el desvío (Δ):

$$Rm = Ra + (\Delta \text{ desvío})$$

- La diferencia entre el rumbo de aguja y el verdadero es la corrección total (C.t.).

$$Rv = Ra + Ct$$

De lo que se deduce que la corrección total es igual al desvío más la declinación magnética

Estos mismos razonamientos se pueden aplicar a las demoras, simplemente cambiando el concepto de rumbo por el de demora.

$$Dv = Dm + dm$$

$$Dm = Da + \Delta$$

$$Dv = Da + Ct$$

La relación existente entre demora, rumbo y marcación viene dada por las siguientes expresiones:

$$D = R + M$$

$$M = D - R$$

$$R = D - M$$

1.4. Trazado de demoras en la carta.

Cuando tomamos demoras a un punto de referencia de la costa la tomamos desde el buque, al trazar esta demora sobre la carta para usarlas como líneas de posición se traza a partir del objeto marcado, por lo cual desde el objeto hasta nosotros la “dirección” o demora será la opuesta, es decir sumándole o restándole 180° a la que obtuvimos observando el objeto.

1.5. Enfilaciones y oposiciones.

Decimos que estamos en una enfilación cuando desde el buque observamos dos puntos llamativos de la costa (por ejemplo: dos cabos, una montaña y un cabo, etc.), dos boyas, una boya y un faro, etc., en la misma línea visual; si dibujamos esta línea en la carta podremos emplearla como línea de posición, ya que en alguna parte de ella se encontrará nuestro buque.

Cuando observamos dos puntos que se encuentran en direcciones opuestas (es decir que se diferencian en 180°) decimos que ambos puntos están en oposición, y al trazar en la carta la línea que los une, el barco debe estar situado en algún punto de la misma.

Al trazar las enfilaciones y oposiciones en la carta se convierten en demoras verdaderas y juntamente con otra línea de posición servirán para calcular la posición del barco en la carta.

Al estar en una enfilación podemos calcular la corrección total con el compás de abordo, tomando la demora de aguja de la enfilación y restando del valor de la demora verdadera de la enfilación que obtendremos de la carta mediante la fórmula:

$$Ct = Dv - Da$$

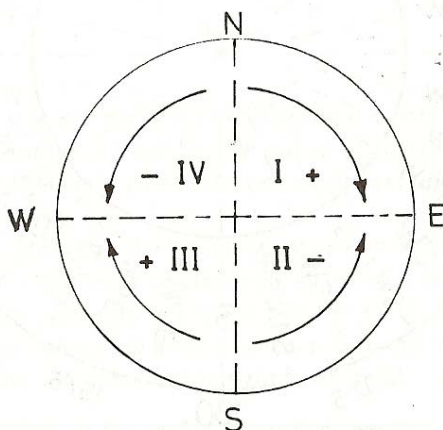
Otra manera más habitual de calcular la corrección total es a partir de la tablilla de desvíos:

Sabiendo nuestro rumbo aguja, miramos la tablilla, en caso de que no dé el valor para nuestro rumbo lo interpolamos, le ponemos el signo y lo sumamos a la declinación magnética (que también llevará su signo).

$$Ct = dm + (\Delta \text{ desvío})$$

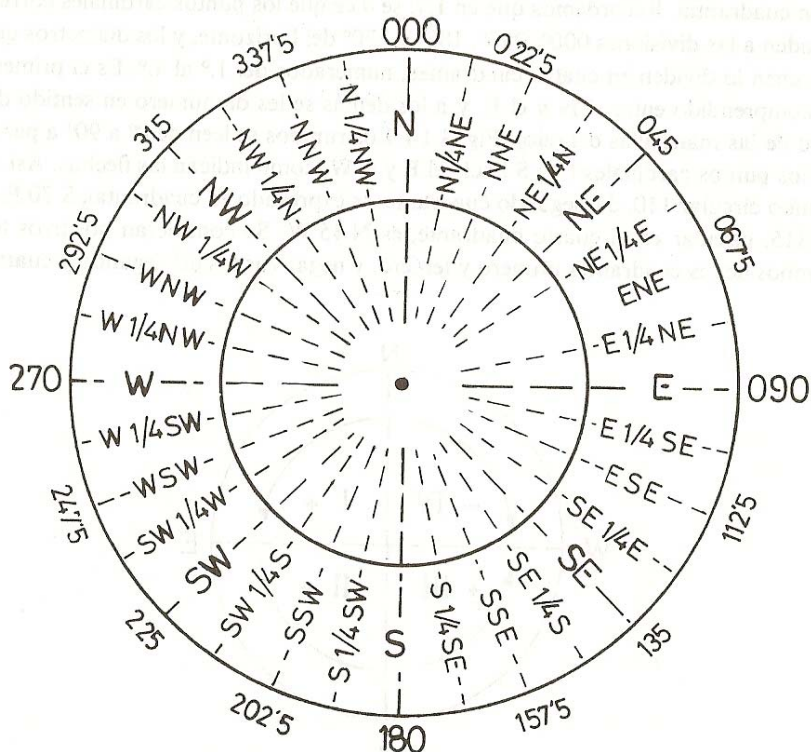
1.6. Formas de dividir el horizonte

Ya se ha definido el horizonte de la mar, y también se describió la división circular del mismo, que es la forma en que actualmente se hace, pero existen otras dos formas más antiguas, prácticamente ya caídas en desuso, que vamos a describir a continuación. Una es la división cuadrantal. Recordemos que los puntos cardinales corresponden a las divisiones 000°, 090°, 180° y 270° del horizonte, y los diámetros que los unen lo dividen en cuatro cuadrantes, numerados del 1.º al 4.º. Es el primero el comprendido entre el N y el E, y a los demás se les da número en sentido del giro de las manecillas del reloj. Los rumbos se leen de 0° a 90° a partir de los puntos cardinales N y S hacia el E y el W, como indican las flechas. Así, el rumbo circular 110, del segundo cuadrante, es expresado en cuadrantal, S 70 E, y el 315, circular en el cuarto cuadrante, es N 45 W. Se consideran positivos los rumbos de los cuadrantes primero y tercero, y negativos los del segundo y cuarto.

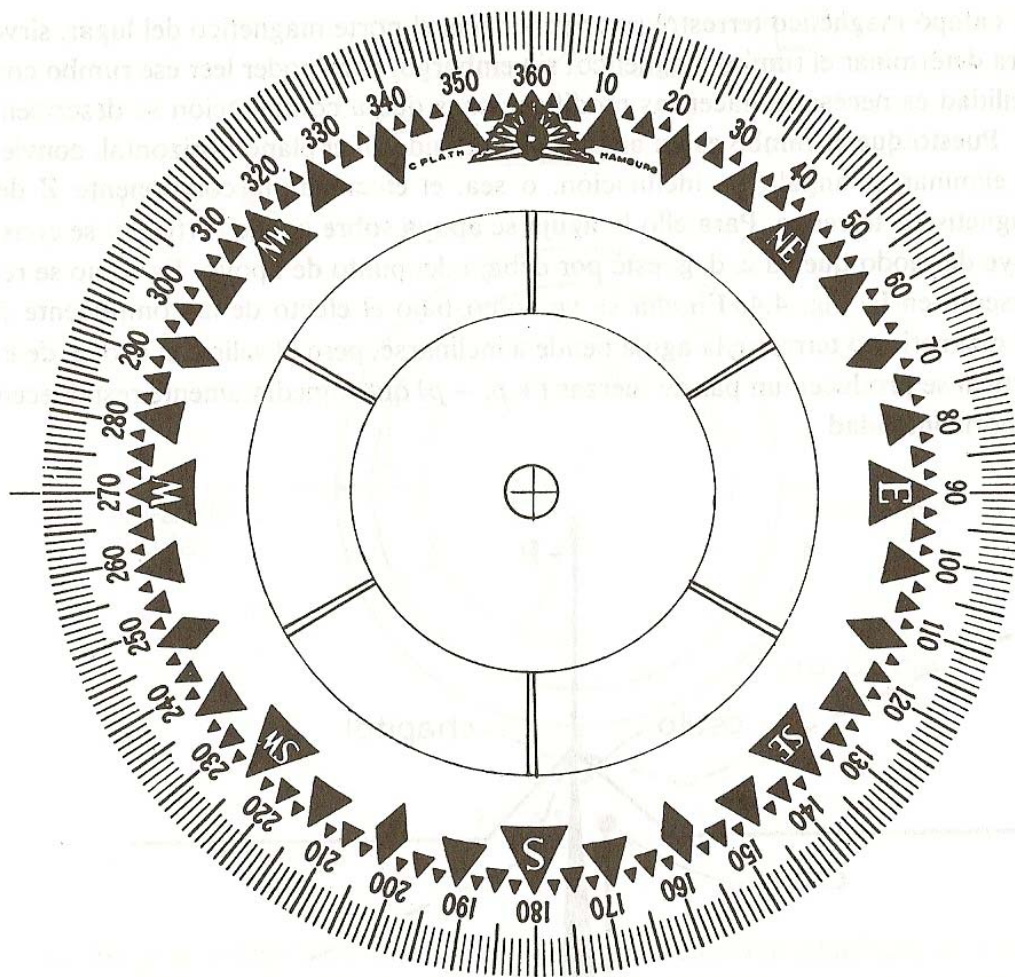


Cuando en algún problema se expresan los rumbos en cuadrantal, recomendamos convertirlo en circular para evitar operar con signos.

La otra forma de dividir el horizonte, es por cuartas, y data del tiempo de la navegación a vela. Al dividir los cuadrantes en dos partes iguales por dos diámetros, los rumbos correspondientes a los extremos de éstos se llaman cuadrantales o laterales, y se les conoce por las palabras compuestas nordeste, sueste, sudoeste y noroeste, siendo sus iniciales NE, SE, SW y NW, respectivamente. Dividiendo el ángulo de 45° comprendido entre cada punto cardinal y el lateral inmediato en dos partes iguales, se obtienen ocho puntos llamados colaterales: nor-nordeste, les-nordeste, les-sueste, sur-sueste, sur-sudoeste, oes-sudoeste, oesnoroeste y nor-noroeste, que se abrevian NNE, ENE, ESE, SSE, SSW, WSW, WNW y NNW. Cada uno de estos arcos se divide en dos partes iguales, a las que se llama cuartas, y cuyo valor es $11^\circ 15'$. Las del primer cuadrante son: Norte cuarta al nordeste, y se escribe N $1/4$ NE; nordeste cuarta al norte, NE $1/4$ N; Nordeste cuarta al este, NE $1/4$ E, y este cuarta al nordeste, E $1/4$ NE. Omitimos nombrar las de los demás cuadrantes por considerar que su nomenclatura es fácil a la vista de la figura.



Al hacer la representación del horizonte existe la costumbre de asignar a los puntos cardinales, cuadrantales, colaterales y cuartas las formas de triángulos y rombos, lo que hace que esta representación tenga el aspecto de una rosa, a la que se llamó rosa de los vientos, puesto que los vientos se denominaban con el nombre del punto del horizonte de donde soplan.

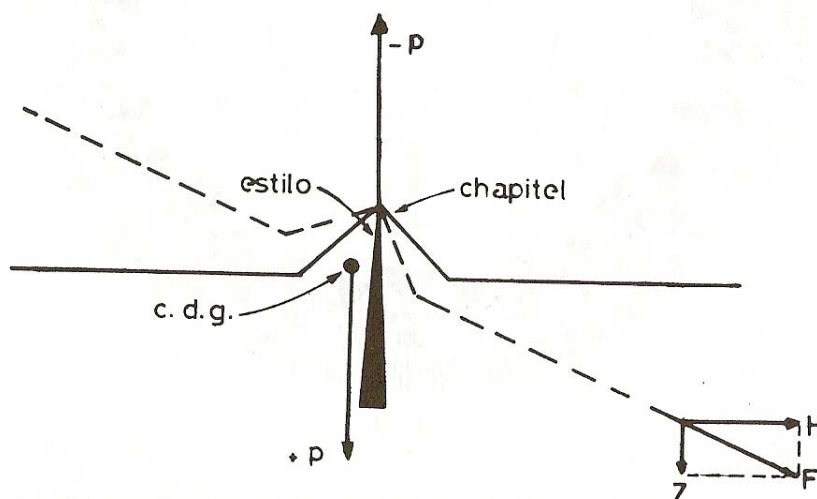


1.7. Agujas magnéticas.

1.7.1. Características de las agujas magnéticas náuticas

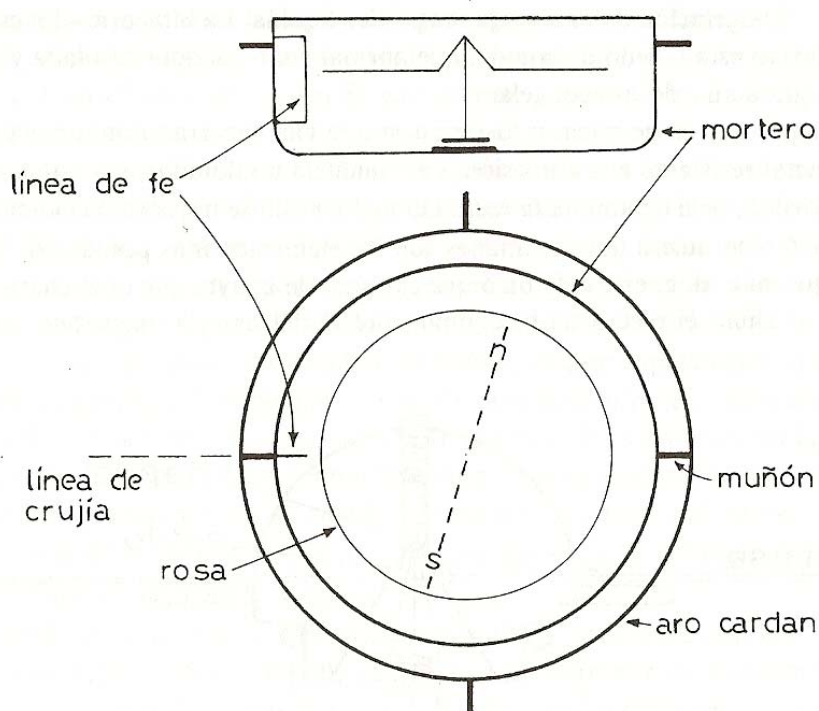
La aguja magnética, suspendida libremente por su centro de gravedad, que bajo la sola influencia del campo magnético terrestre se orienta hacia el norte magnético del lugar, sirve para determinar el rumbo magnético; sin embargo, para poder leer ese rumbo con facilidad es necesario hacer las modificaciones que a continuación se describen.

Puesto que el rumbo es un ángulo que se mide en el plano horizontal, conviene eliminar el ángulo de inclinación, o sea, el efecto de la componente Z del magnetismo terrestre. Para ello la aguja se apoya sobre un eje vertical y se construye de modo que su c. d. g. esté por debajo del punto de apoyo. Es como se representa en la figura. En ella se ve cómo bajo el efecto de la componente Z del magnetismo terrestre la aguja tiende a inclinarse, pero al salirse el c. d. g. de la vertical se producen un par de fuerzas (+ p, — p) que inmediatamente restablecen la horizontalidad.



El eje vertical termina en una aguja muy afilada, cuya punta es de acero, a la que se llama estilo. La parte donde la aguja se apoya en el estilo se llama chapitel; en él va solidaria una pieza dura que suele ser ágata. De este modo se reducen al mínimo las resistencias por rozamientos entre ambos elementos cuando la aguja gira al orientarse.

Las características que se describen a continuación están dibujadas, esquemáticamente, en la figura siguiente., y a ella nos referiremos en lo que sigue de este apartado.



La aguja se encierra en un recipiente, aproximadamente cilíndrico, de material no magnético, normalmente latón, al que se llama mortero, y que en su base superior se cierra con un cristal.

El mortero se une por medio de dos muñones, situados según un diámetro a un aro cardan, cuyo objeto es aislarlo de los movimientos de balance y cabezada de la embarcación, manteniéndolo siempre horizontal.

El aro cardan se une a un mueble, llamado bitácora, por medio de unos muñones emplazados en un diámetro perpendicular al de los del mortero.

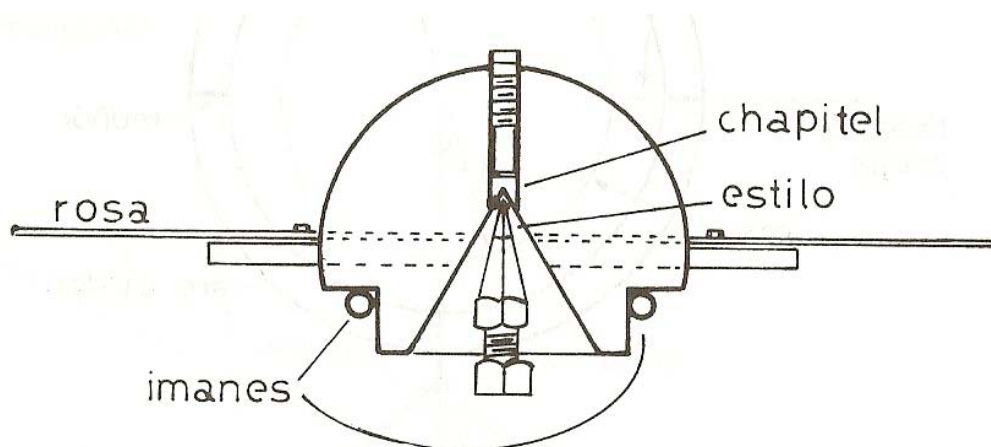
En el interior del mortero se pinta, o se suelda, una marca que se llama línea de fe, que mira a proa y que se hace coincidir con el plano de crujía de la embarcación.

Por último, con objeto de leer los rumbos con facilidad, se une a la aguja una rosa, de modo que coincida el cero de la misma con el polo norte de la aguja. La línea de fe sigue los movimientos de giro de la embarcación, mientras que la rosa permanece inmóvil, alineada con el meridiano magnético, con lo que el rumbo queda indicado por la división de la rosa a que apunta la línea de fe.

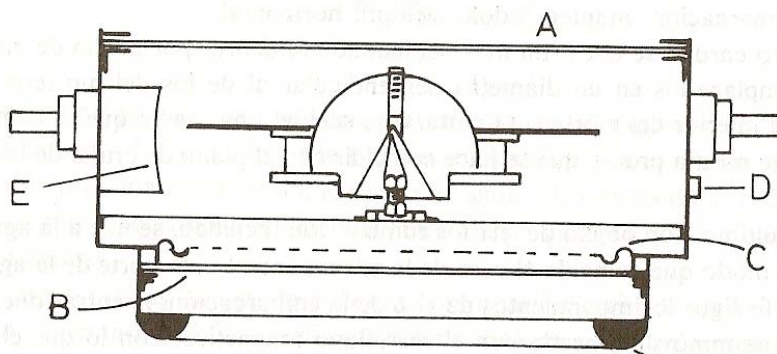
1.7.2. Descripción de una aguja magnética líquida. La bitácora

En esta aguja el mortero está relleno de líquido, que normalmente es agua destilada y alcohol etílico, que actúa de anticongelante.

La rosa, que es de mica, y los imanes, que van encerrados en unos estuches de un metal resistente a la corrosión, van unidos a un flotador, y a este conjunto, por extensión, se le denomina la rosa. Un tipo de ésta se muestra seccionado en la figura. Como quiera que los imanes son los elementos más pesados de la rosa, hacen que su c. d. g. esté más bajo que el punto de apoyo, que es el chapitel, con lo que se anula el efecto de la componente Z del campo magnético terrestre.



La rosa tiene una flotabilidad ligeramente negativa, de modo que el peso que gravita sobre el estilo es, aproximadamente, un 5 % de su peso total. La forma exterior del flotador es semiesférica para minimizar la resistencia a la fricción con el líquido en los giros de la rosa.



El mortero, que es de latón, es como el representado en la figura anterior: está cerrado en su parte superior por un cristal transparente (A), y por su parte inferior lo está por un cristal esmerilado (B) que permite el paso de la luz artificial de la iluminación nocturna. Ambos cristales se hacen estancos con frisas de goma. Está dotado de unos anillos de expansión (C), que absorben las dilataciones y contracciones del líquido con los cambios de temperatura, impidiendo de esta forma la aparición de burbujas en el líquido, que perturbarían los giros de la rosa. En el caso de que se formen burbujas (que no sucederá en agujas bien construidas) se puede proceder al relleno del mortero por el tapón de llenado (D).

En los cambios bruscos y amplios de rumbo, al girar rápidamente el mortero con la embarcación, el líquido que está en contacto con sus paredes tiende a seguirlo, creándose una turbulencia, y para alejar a la rosa de esas partes del líquido es por lo que su diámetro es unos centímetros menor que el mortero. La línea de fe (E) se hace con un alambre que se suelda destacado de la pared del mortero. La pieza (F) es un lastre de plomo que al bajar el c. d. g. del mortero hace que trabaje mejor la suspensión cardan.

La bitácora de la figura, es un mueble de madera de forma cilíndrica y de una altura entre 1,25 y 1,50 m. En ella se apoya el mortero por los muñones del aro cardan. Los puntos de apoyo son unos cojinetes que pueden estar montados sobre unos muelles con objeto de dotar a la aguja de un sistema antivibratorio.

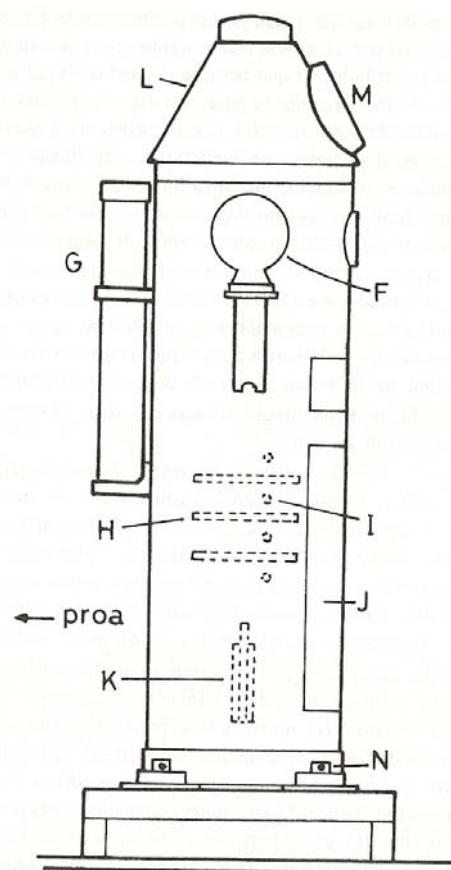
La bitácora contiene los correctores que sirven para anular los efectos de los campos magnéticos de a bordo, de modo que sobre la aguja actúe sólo el campo magnético terrestre. Son de dos clases: fabricados de hierro dulce e imanes.

Son de hierro dulce dos esferas (F) que están montadas sobre unos soportes de latón, normalmente a ambos lados de la bitácora, y una barra cilíndrica encerrada en un estuche de latón (G) atornillado a proa de la bitácora.

Los imanes son cilíndricos, de aproximadamente 20 cm. de longitud y un centímetro de diámetro, que se instalan en unos casilleros, dispuestos en sentido proa-popa (H) y de estribor-babor (1), en el interior de la bitácora, cuyo acceso es por unas puertecitas situadas en la parte de popa de la bitácora (J). Otro imán se dispone verticalmente en el eje central de la bitácora, y se llama imán de escora (K).

El mortero se protege de la intemperie con una tapa llamada cubichete (L), que tiene una mirilla (M), con un cristal, para poder leer los rumbos. Dispone, además, la bitácora de una bombilla eléctrica para la iluminación nocturna de la rosa.

La base de la bitácora se fija, por medio de cuatro pernos (N), a un soporte de madera unido a la cubierta.



1.7.3. Necesidad de compensar la aguja. Tablilla de desvíos

Anteriormente se ha hablado de las causas de los desvíos, y se ha visto el efecto sobre la aguja de un imán permanente situado en sentido proa-popa. Pero a bordo, debido a la complejidad de las formas de los componentes del casco, existen muchos más imanes, unos permanentes y otros temporales, dependientes de los hierros dulces (relativamente pocos en las modernas construcciones, en las que predominan los aceros). En consecuencia, podemos afirmar que el campo magnético de a bordo es sumamente complejo, capaz de producir grandes desvíos que pueden variar en función del rumbo y aun cambiar para un mismo rumbo en distintas partes de la Tierra, porque las características del campo magnético de ésta no son uniformes y, por tanto, es variable la acción de éste sobre la aguja y sobre los hierros dulces de a bordo.



Para que la aguja no tenga desvíos se intenta anular el efecto del campo magnético de a bordo de tal forma que sobre ella actúe sólo el campo orientador, o sea, el terrestre; al procedimiento para lograrlo se le llama compensación de la aguja. Se efectúa situando en la bitácora los correctores citados en el punto anterior. Con los imanes longitudinales y transversales se intenta anular los del casco, localizados en estos sentidos, con las polaridades opuestas a las de los correctores. Con las esferas y la barra situada a proa de la bitácora, ambas de hierro dulce, el efecto de esta clase de hierros de a bordo. El imán de escora tiene por misión anular los desvíos adicionales que aparecen al escorar el buque. A pesar de lo esquemático de estos correctores, se suelen conseguir buenos resultados, aunque es normal que los desvíos no se reduzcan a cero en todos los rumbos. Quedan unos desvíos residuales que se registran en una tablilla de desvíos como la que sigue:

Ra	Des	Rm	Ra	Des	Rm
000	-3°	357	180	+3°	183
015	-3°	012	195	+2,5°	197,5
030	-2,5°	027,5	210	+2,5°	212,5
045	-2°	043	225	+ 2°	227
060	-1,5°	058,3	240	+ 1°	241
075	-1,5°	073,5	255	+ 1°	256
090	-1°	089	270	+ 0,5°	270,5
105	-0,5°	104,5	285	0	285
120	0°	120	300	0	300
135	+0,5°	135,5	315	-1°	314
150	+1°	151	330	- 2°	328
165	+2°	167	345	- 2,5°	342,5

Utilizando esta tablilla efectuaremos la corrección del Ra en los ejemplos que siguen.

Ejemplo a): Se navega al Ra = 227°, la dm del lugar es 9° NW, calcular el Rv.

dm= 9 (-) Ra= 227°
 De = 2 (+) Ct = 7(-)
 Ct= 7 (-) **Rv = 220°**

Para convertir el Rv en Ra es necesario obtener primero el Rm. Puesto que se sabe que $Rv = Rm + dm$, entonces $Rm = Rv - dm$, se entra en la tablilla en la columna del Rm y se obtiene el desvío.

Ejemplo b): Se desea navegar al $Rv = 332^\circ$, la dm del lugar es 7° NW, calcular el Ra.

$Rv = 332^\circ$	$dm = 7^\circ$ —	$Rv = 332^\circ$	$Rm = 339^\circ$
$dm = 7^\circ$ — (—)	$De = 2,5^\circ$ —	$Ct = 9,5^\circ$ - (-)	$De = 2,5^\circ$ - (-)
$Rm = 339^\circ$	$Ct = 9,5^\circ$ —	$Ra = 341,5^\circ$, o bien,	$Ra = 341,5^\circ$

1.7.4. Agujas magistral y de gobierno

La aguja situada en el interior de la caseta de gobierno, rodeada de elementos de hierro o acero, recibe sólo una parte de las líneas del campo magnético exterior a la misma, que tienden a concentrarse en los materiales ferromagnéticos próximos, esta es la razón por la que otra aguja se instala en el techo de la citada caseta, a la intemperie, y de ser posible las estructuras próximas a su emplazamiento se construyen de materiales no magnéticos. A esta aguja se le llama magistral, porque los rumbos de la de gobierno se comparan con los que ella señala.

Ambas agujas se instalan en el plano de crujía, que es el de simetría del casco, de modo que las líneas de fe coincidan con dicho plano; de este modo las masas magnéticas del buque están uniformemente repartidas respecto a las agujas.

1.7.5. Cuidados que deben tenerse con las agujas

Se deberán tener los siguientes:

Si se forman burbujas se procederá al relleno del mortero.

Se cubrirá siempre con el cubichete, para impedir que los rayos de sol sobre el cristal del mortero puedan producir un calentamiento excesivo del líquido. Por esta misma razón la iluminación artificial se desconectará durante el día.

Cuando el plano de la rosa no se mantenga paralelo al cristal del mortero o cuando sus bordes no estén equidistantes de las paredes del mismo, se debe sospechar que el estilo, el chapitel o ambos presentan desgaste, por lo que se debe proceder a la sustitución del estilo, de la rosa o de ambos.



Cuando estando el buque en reparaciones se produzcan golpes o trepidaciones en lugares próximos a la bitácora, se quitará el mortero de ésta y se guardará en lugar seguro.

La suspensión cardan se mantendrá debidamente engrasada y se revisará el estado de los muñones y cojinetes.

1.8. Agujas giroscópicas

1.8.1. Generalidades.

Las agujas giroscópicas son unos aparatos eléctrico-mecánicos, fundados en las propiedades del giróscopo que facilitan a bordo la indicación del norte geográfico permitiendo, por lo tanto, el gobernar a rumbos verdaderos con independencia de la declinación magnética y de los desvíos que afectan a cualquier tipo de aguja magnética.



Su empleo es generalizado abaratándose así su coste y a simplificando sus mecanismos sin perjuicio de la calidad que se ha perfeccionado sobremanera. De todas formas y aun cuando se disponga de una de estas agujas a bordo, la magnética debe seguir mereciendo las atenciones del encargado de la derrota, como elemento de reserva imprescindible.

La teoría del giróscopo y su conversión en aguja giroscópica se explica detalladamente en numerosos textos. Aquí, únicamente, se señalan sus propiedades fundamentales y las sucesivas etapas de evolución hacia la giroscópica, así como sus errores típicos.

1.8.2. Propiedades del giróscopo.

El giróscopo con tres grados de libertad es un cuerpo de forma tórica que puede girar en los tres sentidos (de rotación alrededor de un eje, en azimut, y en elevación).

Cuando está animado de suficiente velocidad, mantiene su eje de giro apuntando siempre en la misma dirección del espacio. La anterior propiedad conocida por rigidez o inercia giroscópica está condicionada a que el centro de gravedad del giróscopo esté en el punto de intersección de sus tres ejes de movimientos, a que los cojinetes de giro tengan una fricción mínima, y a que no haya fuerzas perturbadoras extrañas.

Si por cualquier circunstancia se le aplica una fuerza al eje del giróscopo, éste reacciona de una forma especial que se puede resumir en:

- a) Si se le empuja inclinándolo, entonces gira.
- b) Si se le empuja girándolo, entonces se inclina.

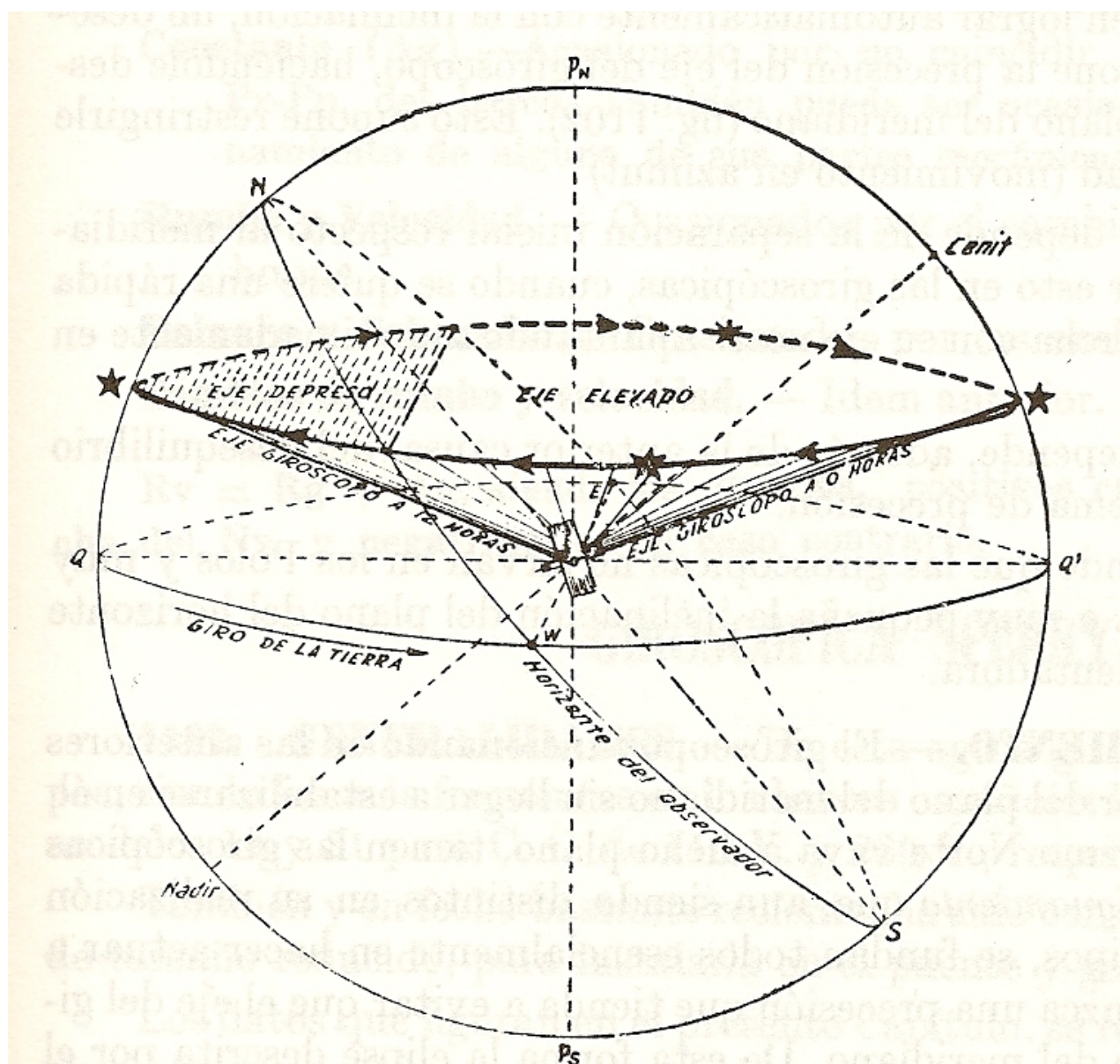
Estas propiedades se conocen con el nombre de precesión, aprovechándose en las giroscópicas para lograr que el aparato busque el plano N-S verdadero.

1.8.3. Movimientos de la tierra

Para un punto de una cierta latitud, el movimiento de la Tierra se puede descomponer en dos, uno de inclinación del plano del horizonte (a bajar el Este) y otro de giro de la línea N-S (hacia el Oeste en el hemisferio Norte y hacia el Este en el Sur). En el Ecuador sólo hay movimiento de inclinación y en los Polos únicamente de giro.

Considerando el giróscopo con tres grados de libertad instalado en un lugar determinado, se moverá aparentemente para el observador, pero lo que hace realmente es deshacer los anteriores movimientos de la Tierra al continuar apuntando fijamente a la dirección del espacio en que fué lanzado.

En el supuesto de que en dicho lugar existiese una estrella, la seguiría en sus movimientos, véase figura, y cada 24 horas volvería a su posición inicial.



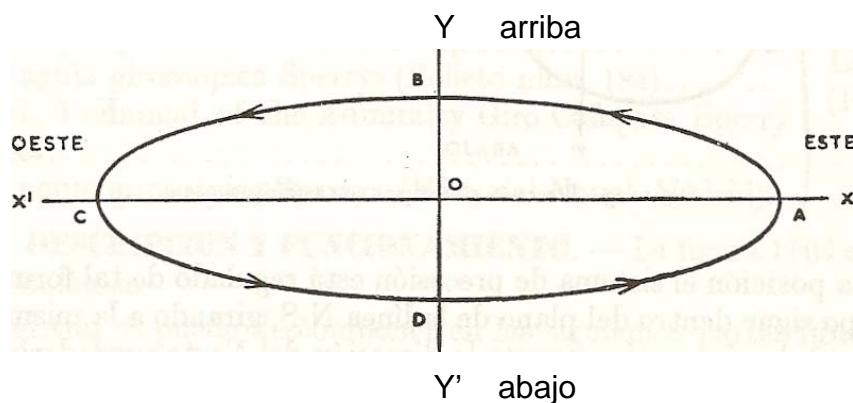
1.8.4. Giroscopio con precesión.

Como primer paso para convertirlo en giroscópica se aprovecha la gravedad terrestre en combinación con las inclinaciones que toma el eje del giróscopo al deprimirse o elevarse el plano del horizonte. Para ello se le adiciona un dispositivo (propio de cada tipo de giroscópica) que esencialmente consiste en lograr automáticamente con la inclinación, un desequilibrio de pesos que ocasione la precesión del eje del giróscopo, haciéndole describir elipses alrededor del plano del meridiano. Esto supone restringirle uno de sus grados de libertad (movimiento en azimut).

El tamaño de la elipse depende de la separación inicial respecto al meridiano con que fué lanzado. Por esto en las giroscópicas, cuando se quiere una rápida orientación, se ponen en marcha con su eje norte apuntando aproximadamente en esta dirección.

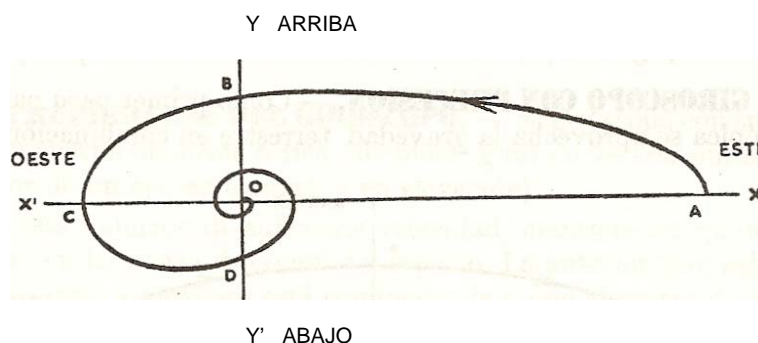
La duración del ciclo depende, además de la anterior causa, del desequilibrio de pesos que motive el sistema de precesión.

Igualmente se comprende que las giroscópicas no sirvan en los Polos y muy altas latitudes, por ser nula o muy pequeña la inclinación del plano del horizonte que motiva la precesión orientadora.



1.8.5. Amortiguamiento

El giróscopo funcionando en las anteriores condiciones, oscila alrededor del plano del meridiano sin llegar a estabilizarse en él. Para conseguir que su extremo Norte vaya a dicho plano, tienen las giroscópicas unos dispositivos de amortiguamiento que, aun siendo distintos en su realización práctica en los diferentes tipos, se fundan todos esencialmente en hacer actuar a una fuerza o peso que produzca una precesión que tienda a evitar que el eje del giróscopo se separe del plano del meridiano. De esta forma la elipse descrita por el extremo de dicho eje se convierte en una espiral, acabando por quedar orientado correctamente.



En esta posición el sistema de precesión está regulado de tal forma que el eje del giróscopo sigue dentro del plano de la línea N-S, girando a la misma velocidad que ésta y señalando continuamente la dirección del Norte verdadero.

1.8.6. Giroscópica a bordo. Errores

Las giroscópicas instaladas a bordo se ven afectadas de errores peculiares, que no existen para las instaladas en tierra, que se traducen en desvíos que es preciso corregir. En cada tipo de aparato se logra esto por medio de dispositivos especiales, o están tabulados los desvíos para ser tenidos en cuenta.

A continuación se da una lista de ellos, haciéndose observar que no todas las giroscópicas están afectadas del conjunto de los mismos.

Constante (Ag): Ocasionado por no coincidir la línea de fe con el plano **Pr-Pp** del barco.

También puede ser ocasionado por defectuoso funcionamiento de alguna de sus partes mecánicas o eléctricas.

Rumbo y Velocidad: Ocasionados por el cambio de posición geográfica del buque.

Balance y Cabezada: Ocasionados por las aceleraciones a que dan lugar.

Cambios de rumbo y velocidad: Ocurre lo mismo que en el caso anterior.

De ello se deduce que: $R_v = R_g + A_g$; siendo los desvíos positivos cuando el Ng está a la derecha del NV, y negativos, en el caso contrario.

1.8.7. Compases satelitarios.

El compás satelitario se compone, en general, de una unidad exterior de triple antena GPS, una unidad procesadora y un display de grandes dígitos. El conjunto cumple con los últimos requisitos IMO para equipos transmisores para barcos de 300 a 499TRB y ofrece una exactitud de rumbo de 0,5°.

Este equipo puede duplicar su función de proveedor de rumbo con la de posicionador GPS. Suministra información de posición GPS, SOG (velocidad sobre el fondo), COG (rumbo sobre el fondo) y ROT (velocidad de giro). Su facilidad de manejo y mantenimiento prácticamente nulo hacen que sea valorado muy positivamente y que, además, puede ser utilizado para una amplia variedad de aplicaciones que requieren señal de rumbo, tales como Radar/ARPA, AIS, ECDIS, Sonar, Sondas, Piloto Automático, etc.



2. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GPS

2.1. Introducción

Al principio de los 60 los departamentos de defensa, transporte y la agencia espacial norteamericanas (DoD, DoT y NASA respectivamente) tomaron interés en desarrollar un sistema para determinar la posición basado en satélites. El sistema debía cumplir los requisitos de globalidad, abarcando toda la superficie del globo; continuidad, funcionamiento continuo sin afectarle las condiciones atmosféricas; altamente dinámico, para posibilitar su uso en aviación y precisión. Esto llevó a producir diferentes experimentos como el Timation y el sistema 621B en desiertos simulando diferentes comportamientos. Así el GPS entró en servicio en 1965, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos lo implementó con el objeto de obtener en tiempo real la posición de un punto en cualquier lugar de la tierra. Este sistema surgió debido a las limitaciones del sistema TRANSIT que en la década de los 70 proporcionaba posicionamiento usando métodos Doppler. La principal desventaja del este último era la no disponibilidad de satélites las 24 horas del día.

El sistema TRANSIT estaba constituido por una constelación de seis satélites en órbita polar baja, a una altura de 1074 Km. Tal configuración conseguía una cobertura mundial pero no constante. La posibilidad de posicionarse era intermitente, pudiéndose acceder a los satélites cada 1.5 h. El cálculo de la posición requería estar siguiendo al satélite durante quince minutos continuamente. TRANSIT trabajaba con dos señales en dos frecuencias, para evitar los errores debidos a la perturbación ionosférica. El cálculo de la posición se basaba en la medida continua de la desviación de frecuencia Doppler de la señal recibida y su posterior comparación con tablas y gráficos. El error de TRANSIT estaba en torno a los 250 m. Su gran aplicación fue la navegación de submarinos y de barcos.

La entonces URSS tenía un sistema igual que el TRANSIT, de nombre TSICADA. Había que dar un gran salto. La guerra fría fomentaba invertir unos cuantos billones de dólares en un revolucionario sistema de navegación, que dejara a la URSS definitivamente atrás.

Finalmente Estados Unidos concibió un sistema formado por 24 satélites en órbita media, que diera cobertura global y continua. ROCKWELL (California) se llevó uno de los contratos más importantes de su época, con el encargo de 28 satélites.

El primer satélite se lanzó en 1978, y se planificó tener la constelación completa ocho años después. Unido a varios retrasos, el desastre de la lanzadera Challenger paró el proyecto durante tres años. Por fin, en diciembre de 1983 se declaró la fase operativa inicial del sistema GPS. El objetivo del sistema GPS era ofrecer a las fuerzas de los EE.UU. la posibilidad de posicionarse (disponer de la posición geográfica) de forma autónoma o individual, de vehículos o de armamento, con un coste relativamente bajo, con disponibilidad global y sin restricciones temporales. La iniciativa, financiación y explotación corrieron a cargo del Departamento de Defensa de los EE.UU. (DoD), el GPS se concibió como un Sistema militar estratégico.



En 1984 un vuelo civil de Korean Airlines fue derribado por la Unión Soviética al invadir por error su espacio aéreo. Ello llevó a la administración Reagan a ofrecer a los usuarios civiles cierto nivel de uso de GPS, llegando finalmente a ceder el uso global y sin restricciones temporales, de esta forma se conseguía un retorno a la economía de los EE.UU. inimaginables unos años atrás. Además suponía un gran liderazgo tecnológico originando un vertiginoso mercado de aplicaciones.

Desde 1984, con muy pocos satélites en órbita, aparecieron tímidamente fabricantes de receptores GPS destinados al mundo civil (Texas Instruments y Trimble Navigation).

La seguridad obtenida en la posición la degrada intencionalmente el DoD (Department of Defense) de los EE UU por motivos bélicos. En Marzo de 1996, la Casa Blanca informó que en cuatro a diez años se quitaría esta restricción denominada "Disponibilidad Selectiva" con lo que la precisión para un receptor GPS doméstico alcanzaría a errores menores a 20 m el 95 % del tiempo, en algún momento situado entre el 2000 y el 2006.

Hoy en día el GPS supone un éxito para la administración y economía americana no interesando a nadie que se reduzca la inversión en el sistema, sino todo lo contrario. La política de la administración de EE.UU. es mantener costo cero para el usuario el sistema GPS, potenciar sus aplicaciones civiles a la vez que se mantiene el carácter militar.

Las aplicaciones disponibles se orientan a principalmente a sistemas de navegación y aplicaciones cartográficas: topografía, cartografía, geodesia, sistema de información geográfica (GIS), mercado de recreo (deportes de montaña, náutica, expediciones de todo tipo, etc.), patrones de tiempo y sistemas de sincronización, aplicaciones diferenciales que requieran mayor precisión además de las aplicaciones militares y espaciales.

En cuanto al reparto del mercado los más importantes son la navegación marítima, la aérea y la terrestre. Con una flota de 46 millones embarcaciones en todo el mundo, de los que el 98% son de recreo, la navegación marítima supone un mercado nada despreciable. Recreo, pesqueros, mercantes, petroleros, dragados y plataformas petrolíferas son perfectos candidatos al uso del GPS. El volumen de venta de equipos GPS en está en torno a los 300 millones de dólares anuales.

En cuanto a la navegación aérea con unos 300.000 aviones en todo el mundo. El equipamiento de GPS para navegación intercontinental o entre aeropuertos tiene una penetración anual del 5% (aproximadamente unas 15.000 unidades). Sin embargo en aproximación el GPS no tiene la suficiente integridad y precisión aunque la FAA esta financiando el proyecto WAAS (Wide Area Augmentation System) que refuerza el sistema GPS y será útil para aproximaciones de clase I (en EE.UU).

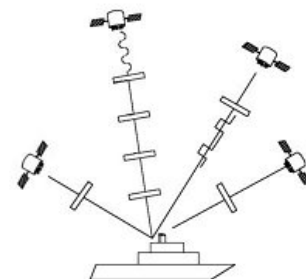
Pero el auténtico mercado del GPS en el mundo es la navegación terrestre. Con 435 millones de turismos y 135 millones de camiones es el más amplio mercado potencial de las aplicaciones comerciales del GPS. De hecho el crecimiento de equipamiento de GPS mundial es en torno a los 2.000 millones de dólares anuales, lo que lleva a una penetración del 4% en el año 2001. Entre las aplicaciones con más desarrollo contamos con sistemas de navegación independiente, sistemas de seguimiento automático, control de flotas, administración de servicios, etc. S



2.2. Descripción del Sistema GPS

El sistema Global de posicionamiento (Global Positioning System- GPS por sus siglas en inglés), es un sistema satelitario basado en señales de radio emitidas por una constelación de 21 a 24 satélites activos en órbita alrededor de la tierra a una altura de aproximadamente 20 000 km., las 24 horas del día, desplazándose a una velocidad de 14.500 Km./h.

Las órbitas son casi circulares y se repite el mismo recorrido sobre la superficie terrestre (mientras la tierra rota a su vez sobre si misma) de esta forma en prácticamente un día (24 horas menos 4 minutos) un satélite vuelve a pasar sobre el mismo punto de la tierra. Los satélites quedan situados sobre 6 planos orbitales (con un mínimo de 4 satélites cada uno), espaciados equidistantes a 60 grados e inclinados unos 15 grados respecto al plano ecuatorial. Esta disposición permite que desde cualquier punto de la superficie terrestre sean visibles entre cinco y ocho satélites.



GPS Navigation

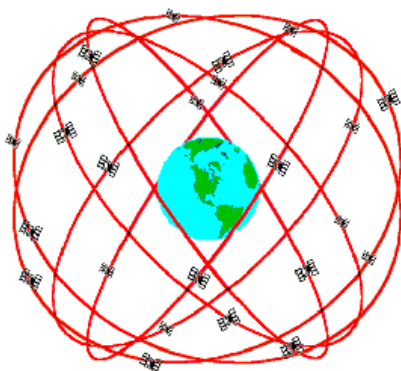
Normalmente hay más número de satélites ya que se ponen en órbita unidades nuevas para reponer satélites antiguos que tienen una vida media aproximada de siete años y medio.

Hasta la actualidad han habido tres generaciones de satélites, los Block I (actualmente inoperativos), Block II (9 satélites entre 1989 y 1990 y 19 adicionales hasta el 1997) y Block IIR (un satélite en 1998). En enero de 1999 orbitaban 27 satélites GPS en total.

El sistema permite el cálculo de coordenadas tridimensionales que pueden ser usadas en navegación o, mediante el uso de métodos adecuados, para determinación de mediciones de precisión, provisto que se poseen receptores que capten las señales emitida por los satélites. Se utilizan cuatro señales para el cálculo de posiciones en tres dimensiones y del ajuste del reloj del receptor en el bloque receptor.

La estación maestra de control (MCS) está situada en Falcon AFB en Colorado Spring. Las estaciones de control miden las señales procedentes de los satélites y son incorporadas en modelos orbitales para cada satélite. Los modelos calculan datos de ajuste de órbita (efemérides) y correcciones de los relojes de cada satélite. La estación maestra envía las efemérides y correcciones de reloj a cada satélite. Cada satélite envía posteriormente subconjuntos de estas informaciones a los receptores de GPS mediante señales de radio.

La distancia a cada satélite es determinada haciendo uso de la fórmula $d = c \times \Delta t$; en donde c corresponde a la velocidad de la luz en el vacío y Δt el tiempo de recorrido de la señal desde el satélite hasta el receptor. Evidentemente se necesita proveer al sistema de un mecanismo de medida de tiempo. Tanto los satélites como los receptores son provistos de relojes para tal efecto.



Debido a que no se puede tener un reloj perfecto, tanto los relojes en el receptor y satélite poseen un error que afectará la distancia medida, más si se considera la magnitud de las distancias involucradas. Debido a que el intervalo de tiempo es calculado a partir de dos relojes distintos, con errores diferentes, es que se usa el término de pseudo-distancias para hacer referencia a las distancias medidas.

La determinación de coordenadas en forma absoluta presenta varios problemas. Además de los errores de reloj, se debe considerar que en la medición de pseudo-distancias la señal proveniente del satélite cambiará su velocidad de propagación al atravesar capas atmosféricas de distinta densidad, lo que introduce otro error en la posición. También, debe recordarse que la posición de observación es determinada a partir de las coordenadas de los satélites, la distancia medida, por lo tanto, también se encuentra afectada por las distintas perturbaciones orbitales, que sacan a los satélites de las órbitas teóricas. La exactitud en la determinación de coordenadas absolutas con respecto al sistema de referencia es entre 100 y 150 m en las tres coordenadas.

No es esta una detallada explicación del funcionamiento de un sistema que contiene en su faz técnica muchas complejidades electrónicas, geodésicas, astronómicas e informáticas. Pero un navegante debe comprender las herramientas que emplea, al menos lo suficiente como para que no se conviertan en "mágicas" a tal punto que desvirtúen nuestra tradición de hombres y mujeres que aprenden a armonizar con la naturaleza convirtiéndose en sus inteligentes aliados y beneficiarios.

El GPS emplea para sus cálculos nociones fáciles de comprender para un navegante que sabe establecer líneas de posición y tiene algunas bases elementales de física.

Imaginemos un juego: Nos hallamos en una ciudad imaginaria (la ciudad "X"), enlazada a muchas otras por carreteras rectas en las que un vehículo se desplaza siempre a una velocidad de 100 Km. por hora. No sabemos cuál es nuestra ciudad y trataremos de averiguarlo con un mapa y la información proporcionada por distintos viajeros que arriban a ella.

Llega el primer viajero y le preguntamos: ¿De donde viene?. —de la ciudad "A", nos responde. ¿A que hora partió? —A las 16:00. Miramos nuestro reloj y vemos que son las 17:00. ¿Qué podemos deducir?.

Sabiendo que el viajero proveniente de la ciudad "A", tardó una hora y que viajó a 120 Km. por hora, deducimos de inmediato que nuestra ciudad "X" se halla situada a 120 Km. de la ciudad "A". Mirando el mapa observamos que hay al menos 3 ciudades que se hallan exactamente a 120 Km. de la ciudad "A".

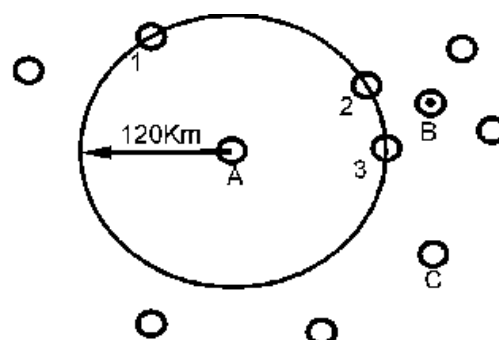
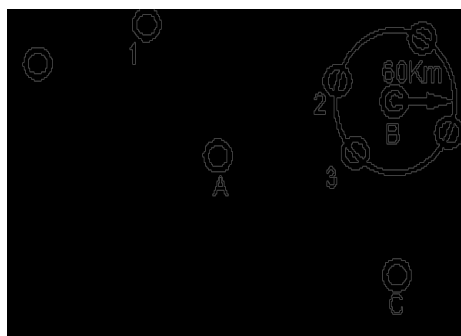


Fig. 1

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

Pensando un poco advertimos que la ciudad "X" puede estar sobre cualquier parte de una circunferencia centrada en "A" cuyo radio sea 120 Km., o dicho de otro modo a una hora de viaje de ella... Por el momento, no podemos decir en cuál de ellas estamos pero ya sabemos que ocupa un lugar en esa circunferencia de 120 Km de radio.



Arriba otro viajero de la ciudad "B" y le hacemos las mismas preguntas. Nos informa que partió a las 16:30. Miramos nuestro reloj y vemos que son las 17:00 (llegaron ambos al mismo tiempo), Deducimos que la ciudad "X" se halla a 60 Km. de la ciudad "B" porque nuestro viajero tardó 1/2 hora corriendo a 120 Km. por hora...

Nuevamente miramos el mapa y observamos que hay cuatro ciudades a 60 Km. de la "B", y al igual que antes recordamos que cualquier ciudad que se halle a 60 Km. de la "B" estaría sobre una circunferencia de radio 60 Km. y centro en "B" (fig.2).

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

Si dibujamos ambas circunferencias sobre el mapa, veremos de inmediato que en la intersección de ambas se hallan dos ciudades: La ciudad "2" y la ciudad "3". Sabemos entonces que la "X" es una o la otra. Solamente dos ciudades (o dos puntos) en la superficie del mapa/carta pueden estar simultáneamente a 120 Km. de "A" y 60 Km. de "B" (ver fig. 3).

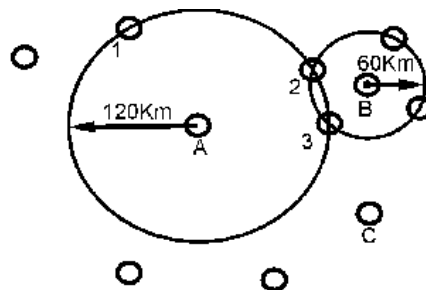


Fig. 3

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

Con un tercer viajero proveniente de otra ciudad podríamos eliminar esta incertidumbre trazando una circunferencia adicional que definirá si "X" corresponde a la "2" o la "3". En nuestro caso un tercer viajero proveniente de "C", nos deja saber que nuestra ciudad "X", es efectivamente la "3" (fig. 4).

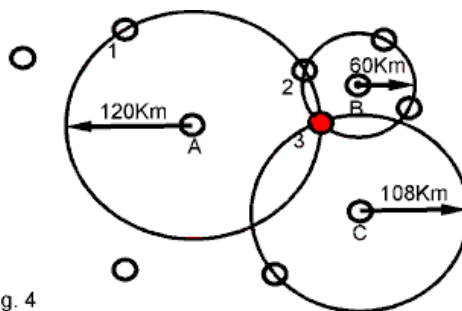


Fig. 4

Nótese que hemos asumido un par de hechos:

- Que los relojes de los viajeros y el nuestro "están en hora".
- Que los automóviles se desplazan todos a 120 Km. por hora.
- Que los caminos que unen ciudades no son sinuosos sino rectos.

Si relacionamos lo dicho con nuestro verdadero problema veremos:

- Que las ciudades "A" y "B", son los satélites de la constelación Navsat.
- Que los viajeros que contestan nuestras preguntas son los paquetes de datos que estos satélites envían al receptor del GPS.
- Que nosotros vendríamos a ser el computador del GPS.
- Que los relojes de los viajeros son extremadamente exactos.
- Que los "automóviles" son las ondas de radio que transportan la información proveniente de los satélites.
- Que esas ondas viajan a aproximadamente 300.000 Km. por segundo.
- Que nuestro reloj pulsera es el reloj interno del GPS.

Con estos datos ya podrá comprender mejor cómo el GPS calcula una posición:

El computador del GPS recibe información proveniente de cada uno de los satélites que está en condiciones de escuchar. Cuando la decodifica obtiene (entre muchos otros) dos datos fundamentales:

De cuál satélite provienen los datos (la ciudad "A", para nuestro ejemplo).

La hora exacta a la que partió el paquete de datos (la hora de partida del viajero).

Conociendo la hora de partida de los datos y comparándola con la hora de llegada que obtiene de su propio reloj, el computador determina cuánto tiempo demoró el viaje y sabiendo que las ondas con la información viajan a la velocidad de la luz (en lugar de los 120 Km. por hora), puede calcular fácilmente a qué distancia se halla exactamente ese satélite. De este modo obtiene, al igual que en nuestro juego, una circunferencia en la que "sabe" que está situado (en realidad es una esfera. Piense porqué).

Repitiendo el procedimiento con otros dos satélites puede conocer su posición exacta respecto de ellos. ¿Es bastante simple verdad?

2.2.1. La importancia de la precisión en el tiempo

Comparado con el reloj que posee el satélite, nuestro reloj de pulsera "Quartz" es un reloj de arena. Efectivamente, el que transporta la constelación Navsat está controlado con patrones atómicos de elevadísima precisión. El receptor del GPS, en cambio, posee uno cuya precisión está dada por la estabilidad inherente a las vibraciones de un cristal de cuarzo que lleva en su interior (similar a la de un reloj común), por lo que habitualmente adelantará o atrasará respecto del que llevan abordo los satélites.

Ahora bien, siendo que las ondas de radio se mueven tan rápido, un error de tan solo una milésima de segundo entre la hora del satélite y la del GPS ¡originaría errores del orden de 200 millas en la posición!. Con este dilema tuvieron que vérselas los ingenieros electrónicos que desarrollaron el sistema.

Una manera sencilla de resolver el problema sería disponer en el receptor del GPS un reloj tan elaborado como el que transportan los satélites, pero en este caso el costo del aparatito sería astronómico (valga la redundancia). Usando la cabeza, los humanos, (especie bastante tacaña, por lo visto) encontraron una forma ingeniosa para abaratar el chiche:

Volvamos al ejemplo de las ciudades. Si nuestro reloj adelantara 10 minutos, creeríamos que la ciudad "A" se halla a 140 Km. y la ciudad "B" a 80 Km., porque al calcular el tiempo de viaje de los viajeros diríamos que viajaron durante 1 hora 10 minutos y 40 minutos respectivamente, puesto que nuestro reloj estaría indicando las 17:10. Las circunferencias serían más grandes y mirando la carta no encontraríamos ninguna ciudad en ellas o una que no corresponda (fig. 5).

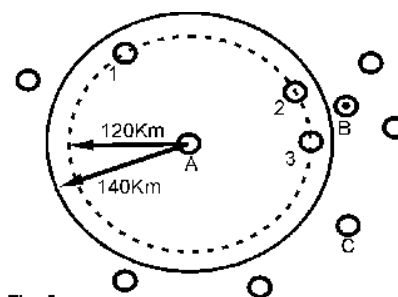


Fig. 5

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

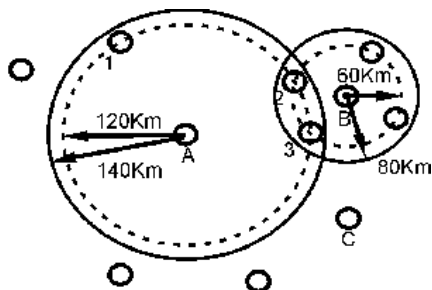


Fig. 6

Hasta es posible que la intersección de dos circunferencias no coincidiera con ninguna ciudad o lo hiciera con una diferente a la que estamos (fig. 6).

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

Viceversa si atrasara diez minutos obtendríamos 50 minutos (100 Km.) y 20 minutos (40 Km.) respectivamente las circunferencias se reducirían con lo que la intersección nos daría un punto más cercano a ambas ciudades.

Al tomar la información del tercer viajero notaríamos que algo anda mal: Encontraríamos que las tres circunferencias no se intersectan en un punto sino que lo hacen de manera que demarcan una superficie (fig. 7), que es justamente lo que nos suele pasar al tomar marcaciones a tres puntos notables cuando queremos establecer de este modo nuestra situación en la carta. ¿Qué hacemos en estos casos?: Consideramos como posición válida una que se halle en el centro geométrico de esa superficie (de hecho en los procedimientos de navegación astronómica se procede así con las rectas de altura).

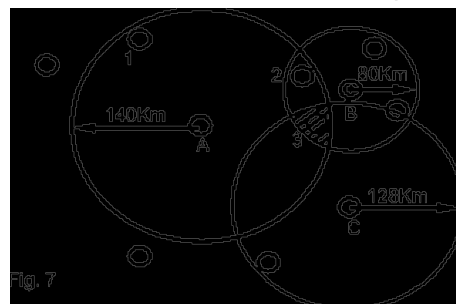


Fig. 7

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

¿Que pasaría si adelantamos diez minutos el reloj que atrasa o atrasamos diez el que adelanta y rehacemos los cálculos? ¡Hallaríamos que las tres circunferencias se intersectan en un punto! que es lo que hubiera sucedido si el reloj hubiera estado en hora ¿verdad?.

Y si adelantáramos 2 minutos el que atrasa o atrasáramos 2 minutos el que adelanta ¿no resulta evidente que la superficie de incertidumbre en la posición se reduce?.

Tanteando adelantar y atrasar nuestro reloj de a poco observamos si la superficie se reduce o se agranda. Y, si probamos yendo en la dirección en que se reduce hasta que la superficie se reduce a un punto, ¡obtenemos un método para poner nuestro reloj en hora con el del satélite y corregir su error!. De esta manera los siguientes cálculos los efectuamos rápidamente con la certeza de que nuestro reloj ahora está OK.

El reloj del GPS suele ser tan ordinario que si lo dejamos unos cuantos días sin usar percibiremos su error (si al encenderlo anota la diferencia de hora entre la del GPS y la de su propio reloj pulsera podrá ver que al rato esa diferencia varía; eso sucede porque una vez que el GPS obtiene toda la información necesaria de los satélites y alcanza a computar una posición, ya está en condiciones de sincronizarlo para que coincida con los precisos patrones que llevan los satélites).

Y si hasta ahora hablábamos de ciudades y satélites como si fueran asuntos gemelos, pero ¿alguna vez oyó hablar de ciudades que se estén moviendo? (sabemos de capitales que se han movido y casi mueven la nuestra, pero las ciudades suelen estar siempre allí).

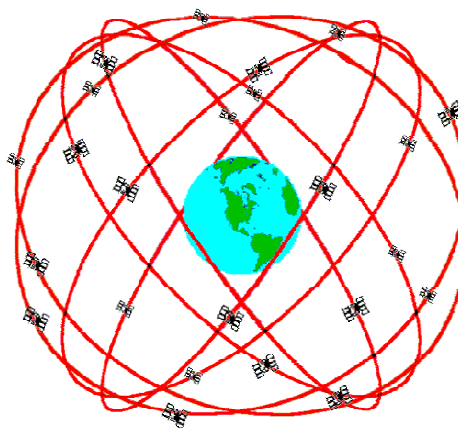
Los satélites se están moviendo continuamente ¿cómo manejamos este asunto?. En realidad es tan fácil de entender como si estuvieran fijos.

Volvamos a nuestro ejemplo: Para obtener la posición ¿no empleamos una carta? y las cartas ¿son inmutables?, ¿acaso no las actualizamos de tanto en tanto?. Que problema habría si nosotros pudiéramos predecir dónde se encontraban las ciudades si se movieran con alguna lógica, tal como podemos averiguar la posición en el pasado de un cuerpo flotante conociendo las corrientes marinas. Mejor aún, si los viajeros nos trajeran una carta en la que conste la posición de su ciudad cuando partieron ¿no tendríamos resuelto el problema?.

Aunque las ciudades se movieran nosotros podríamos calcular igualmente nuestra posición con esta ayuda. Del mismo modo un GPS siempre podría computar una posición calculando donde estarán los satélites en un determinado momento porque su situación orbital es predecible. Desafortunadamente los satélites sufren variaciones en su órbita debido a la atracción del Sol, la Luna, el viento solar, la marejada que hacen los cruceros y demás. Pues bien, los satélites nos proveen una "carta" actualizada, es decir: nos dan cada tanto su posición exacta y, como conocemos las leyes que gobiernan su movimiento siempre podemos reconstruir la carta para mantenerla actualizada sin equivocarnos mucho. Esta información que suministran los satélites son las "Efemérides", por ello el computador del GPS no nos da posiciones hasta no asegurarse de conocer con exactitud la posición precisa de los satélites que ellos mismos proveen, a partir de allí pueden calcular su localización rápidamente (reconstruir la carta) de manera de calcular nuestras coordenadas con la frecuencia necesaria. Es por eso que tenemos que esperar a que "caliente" antes de usarlo; el dispositivo está esperando prudentemente a recibir "actualizaciones de la carta" antes de sacar conclusiones. Todo ello en pos de nuestra seguridad.

2.3. El segmento espacial

Lo forman una constelación de 21 satélites activos más tres de reserva por si algún satélite falla. Están repartidos en seis órbitas, de forma que hay 4 satélites por órbita y está diseñado de tal forma que desde cualquier parte de la superficie terrestre se ven al menos 4 satélites, lo que permite que el usuario pueda conocer con bastante exactitud su posición, así como su altura.



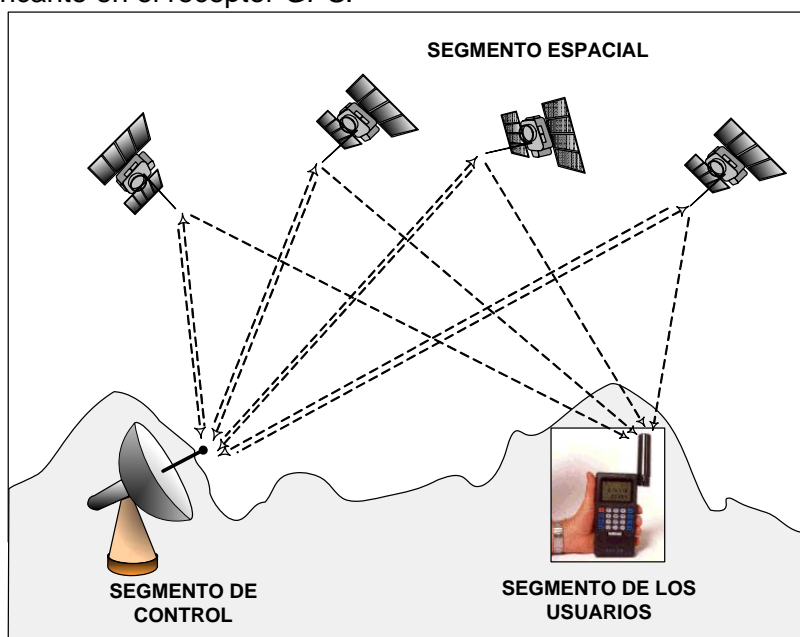
2.4. El segmento de control

Está constituido por varias estaciones terrestres que controlan y actualizan los datos de las órbitas y los valores de los relojes de los satélites, enviando información a los satélites para que estos corrijan los datos que envían a los receptores GPS.

2.5. El segmento del usuario

Lo conforman los receptores GPS y son los encargados de sintonizar las señales emitidas por los satélites, decodificar el mensaje de navegación emitido por estos, medir el retardo de la señal desde el transmisor (satélite) al receptor (usuario) a partir de los cuales calculan la posición, y presentar la información de la posición calculada, ya sea en dos dimensiones (latitud y longitud) o en tres dimensiones (latitud, longitud y altura).

Otras funciones complementarias que tienen son la ayuda a la navegación, almacenamiento de datos y presentación más sofisticada, con mapas de fondo, etc. Esto ya depende del software que haya incluido el fabricante en el receptor GPS.



Las prestaciones que el sistema da a los usuarios civiles son: dar la 1ª posición en 2D en menos de 2 minutos (a no ser que el receptor haya estado mucho tiempo sin ser utilizado); 1ª posición 3D en menos de 2,5 minutos (a no ser que el receptor haya estado mucho tiempo sin ser utilizado); actualizaciones de la posición de 0,5 a 1 segundo; precisión en torno a los 15 metros; medida de la velocidad del usuario, con una precisión de 0,1 metro por segundo aproximadamente; referencia temporal (hora) con una precisión de 100 nanosegundos.

3. EL EQUIPO RADAR

3.1. Introducción

El radar es un sistema electrónico que permite detectar objetos fuera del alcance de la vista y determinar la distancia a que se encuentran proyectando sobre ellos ondas de radio. La palabra 'radar' corresponde a las iniciales de "radio detection and ranging". El radar, que designaba diversos equipos de detección, fue utilizado por las fuerzas aliadas durante la II Guerra Mundial. No sólo indicaba la presencia y distancia de un objeto remoto, denominado objetivo, sino que fijaba su posición en el espacio, su tamaño y su forma, así como su velocidad y la dirección de desplazamiento. Aunque en sus orígenes fue un instrumento bélico, hoy se utiliza ampliamente para fines pacíficos, como la navegación, el control del tráfico aéreo, la detección de fenómenos meteorológicos y el seguimiento de aeronaves.

Todos los sistemas de radar utilizan un transmisor de radio de alta frecuencia que emite un haz de radiación electromagnética, con una radiación de longitud de onda comprendida entre algunos centímetros y cerca de 1 m.

Los objetos que se hallan en la trayectoria del haz reflejan las ondas de nuevo hacia el transmisor. El radar se fundamenta en las leyes de la reflexión de las ondas de radio, implícitas en las ecuaciones que controlan el comportamiento de las ondas electromagnéticas, planteadas por el físico británico James Clerk Maxwell en 1864. Estas leyes quedaron demostradas por primera vez en 1886 a la vista de los experimentos del físico alemán Heinrich Hertz. El ingeniero alemán Christian Hülsmeyer fue el primero en sugerir el aprovechamiento de este tipo de eco mediante su aplicación a un dispositivo de detección diseñado para evitar colisiones en la navegación marítima. En 1922, el inventor italiano Guglielmo Marconi desarrolló un aparato similar.

El primer experimento satisfactorio de detección a distancia tuvo lugar en 1924, cuando el físico británico Edward Victor Appleton utilizó el eco de las ondas de radio para averiguar la altura de la ionosfera —una capa ionizada de la atmósfera más alta capaz de reflejar las ondas de radio más largas. Al año siguiente, los físicos estadounidenses Gregory Breit y Merle Antony Tuve llegaron de forma independiente a los mismos valores para la ionosfera al usar la técnica de radioimpulsos, que más tarde se incorporó a todos los sistemas de radar. Su desarrollo no fue posible hasta la década de 1930, cuando se perfeccionaron las técnicas y equipos electrónicos.

El primer sistema útil de radar lo construyó en 1935 el físico británico Robert Watson-Watt. Sus investigaciones proporcionaron a Inglaterra una ventaja de partida en la aplicación de esta tecnología estratégica; en 1939 ya disponía de una cadena de estaciones de radar en las costas meridionales y orientales capaces de detectar agresiones tanto por aire como por mar. Ese mismo año, dos científicos británicos lograron el avance más importante para la tecnología del radar durante la II Guerra Mundial.



3.2. Fundamentos

Las ondas de radio se desplazan aproximadamente a 300.000 km/s, la velocidad de la luz. Los equipos de radar están compuestos por un transmisor, una antena, un receptor y un indicador.

A diferencia de la radiodifusión, en la que el transmisor emite ondas de radio que son captadas por el receptor, los transmisores y receptores de radar suelen hallarse juntos. El transmisor emite un haz de ondas electromagnéticas a través de una antena, que concentra las ondas en un haz coherente apuntando en la dirección deseada. Cuando las ondas chocan con un objeto que se halla en la trayectoria del haz, algunas se reflejan y forman una señal de eco. La antena capta la energía contenida en dicha señal y la envía al receptor.

Las ondas electromagnéticas se dispersan cuando hay cambios significativos en las constantes dieléctricas o diamagnéticas. Esto significa que un objeto sólido en el aire o en el vacío (es decir, un cambio en la densidad atómica entre el objeto y su entorno) producirá dispersión de las ondas de radio, como las del radar. Esto ocurre particularmente en el caso de los materiales conductores como el metal y la fibra de carbono, lo que hace que el radar sea especialmente indicado para la detección de aeronaves.

La reflexión de las ondas del radar varía en función de su longitud de onda y de la forma del blanco:

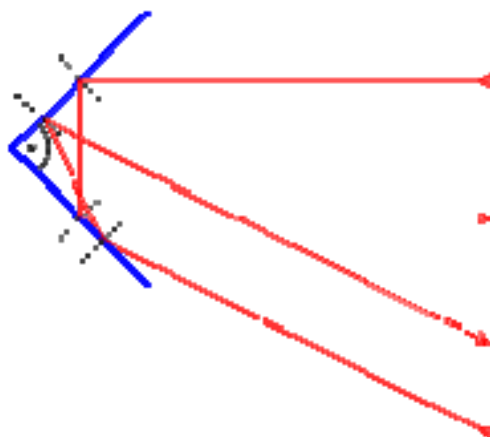
Si la longitud de onda es mucho menor que el tamaño del blanco, la onda rebotará del mismo modo que la luz contra un espejo.

Si la longitud de onda es mucho más grande que el tamaño del blanco, lo que ocurre es que éste se polariza (separación física de las cargas positivas y negativas) como en un dipolo. El eco recibido es muy débil.

Cuando las dos escalas son similares pueden darse efectos de resonancia.

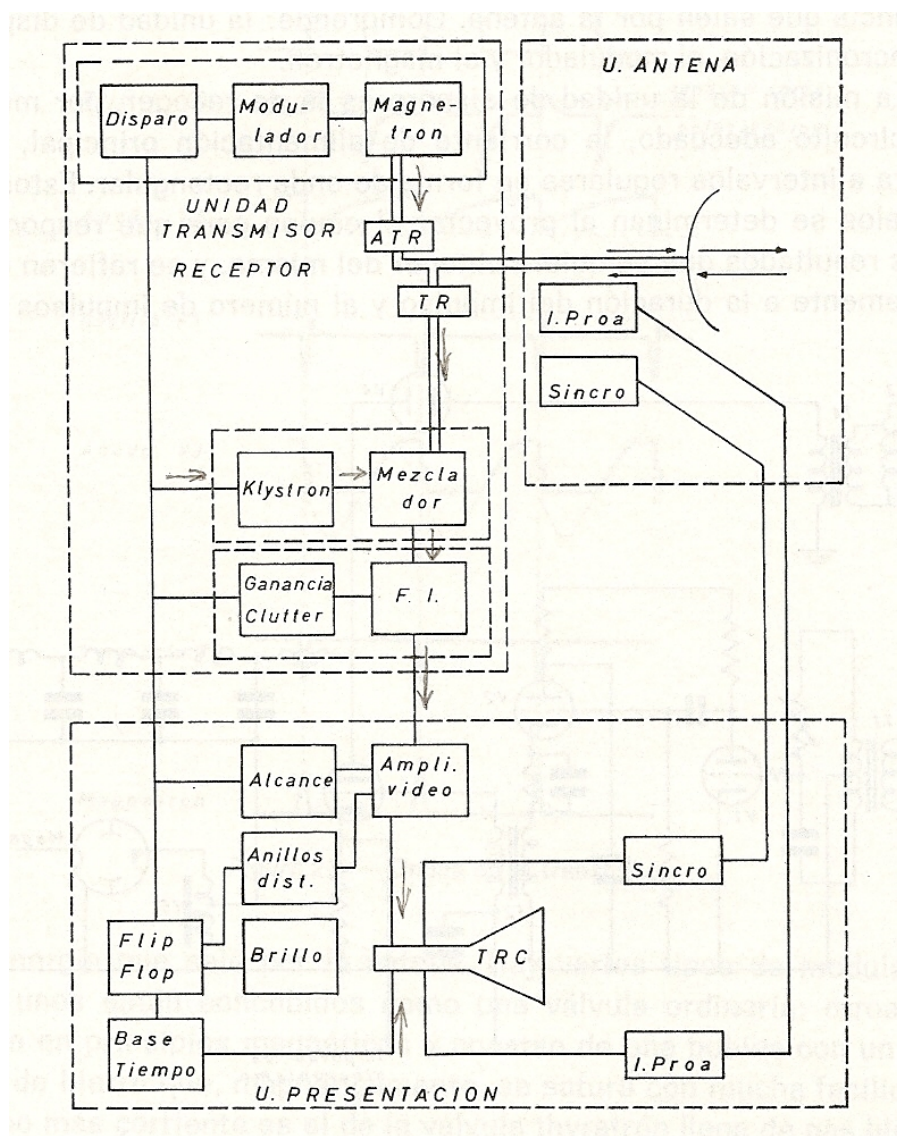
Los primeros radares utilizaban longitudes de onda muy elevadas, mayores que los objetivos; las señales que recibían eran tenues. Los radares actuales emplean longitudes de onda más pequeñas (de pocos centímetros o inferiores) que permiten detectar objetos del tamaño de una barra de pan.

Las señales de radio de onda corta (3 kHz-30 MHz) se reflejan en las curvas y aristas, del mismo modo que la luz produce destellos en un trozo de cristal curvo. Para estas longitudes de onda los objetos que más reflejan son aquellos con ángulos de 90° entre las superficies reflectivas. Una estructura que conste de tres superficies que se juntan en una esquina (como la de una caja) siempre reflejará hacia el emisor aquellas ondas que entren por su abertura.



Mediante un proceso de amplificación y tratamiento informático, el receptor del radar genera una señal en el dispositivo de visualización, por lo general una pantalla de radar u ordenador, en la actualidad.

3.3. Unidades que componen el equipo del radar



3.3.1. Transmisor.

El funcionamiento del radar implica que un transmisor emita una gran cantidad de energía para recibir, detectar y cuantificar una mínima fracción (una millonésima de una billonésima) de toda la energía de radio devuelta en forma de eco. Una forma de solucionar el problema de detectar este eco ínfimo en presencia de la enorme señal emitida es el sistema de impulsos. Durante un lapso de 0,1 a 5 microsegundos se emite un impulso de energía; a continuación, el transmisor permanece en silencio durante un espacio de centésimas o milésimas de microsegundo. Durante la fase de impulso, o emisión, el receptor queda aislado de la antena por medio de un conmutador TR (transmisor-receptor); durante el periodo entre impulsos, esta desconexión se efectúa con un conmutador ATR (anti-TR).

El radar de onda continua emite una señal continua, en vez de impulsos. El radar Doppler, que se utiliza a menudo para medir la velocidad de objetos como un coche o una pelota, transmite con una frecuencia constante. Las señales reflejadas por objetos en movimiento respecto a la antena presentarán distintas frecuencias a causa del efecto Doppler. La diferencia de frecuencias guarda la misma relación con la emitida que la existente entre las velocidades del objetivo y la de la luz. Un objetivo que se desplaza hacia el radar con una velocidad de 179 km/h altera la frecuencia de un radar de 10-cm (3.000 megahercios, MHz) exactamente en 1 kilohercio.

Si el receptor del radar está diseñado de forma que rechace aquellos ecos que poseen la misma frecuencia que el transmisor y sólo amplifica los de frecuencia distinta, únicamente visualizará los objetivos que han reflejado las ondas.

El radar de frecuencia modulada (FM) emite una señal continua cuya frecuencia va cambiando de manera uniforme. La diferencia entre las frecuencias del eco y la del transmisor en el momento de la recepción de aquél permite calcular la distancia existente entre transmisor y objetivo. Estos sistemas son más exactos que los de impulsos, aunque tienen un alcance menor

El núcleo del transmisor lo forma un dispositivo oscilador. La elección de este se realiza en virtud de las características que se requieren del sistema radar (coste, vida útil, potencia de pico, longitud de los pulsos, frecuencia...) Los osciladores mas utilizados son:

Magnetrón: es el más utilizado a pesar de que se trata de una tecnología algo vieja. Son pequeños y ligeros. Pueden funcionar a frecuencias de entre 30 MHz y 100 GHz y proporcionan buena potencia de salida.

Klistrón: algo más grandes que los anteriores, llegan a funcionar solamente hasta los 10 GHz. La potencia de salida que proporcionan puede quedarse corta en algunos casos.

TWT (Tubo de ondas progresivas): para radares de 30 MHz a 15 GHz, buena potencia de salida.

El modulador o pulsador es el elemento encargado de proporcionar pequeños pulsos de potencia al magnetrón. Esta tecnología recibe el nombre de "potencia pulsada". Gracias al modulador, los pulsos de RF que emite el oscilador están limitados a una duración fija. Estos dispositivos están formados por una fuente de alimentación de alto voltaje, una red de formación de pulsos (PFN) y un conmutador de alto voltaje (como un tiratrón).

Si en lugar de magnetrón se usa un tubo klistrón, este puede actuar como amplificador, así que la salida del modulador puede ser de baja potencia.

3.3.2. Antena.

Las antenas de radar tienen que ser muy directivas, es decir, tienen que generar un haz bastante estrecho. Como la anchura del haz es directamente proporcional a la longitud de onda de la radiación e inversamente proporcional a la anchura de la antena.

El movimiento necesario del haz del radar se consigue imprimiendo un movimiento denominado barrido a la antena. La forma más sencilla de barrido consiste en hacer girar lenta y continuamente la antena. Los radares de tierra que se emplean para la detección de aviones, a menudo llevan dos equipos de radar: uno efectúa el barrido en sentido horizontal para visualizar el avión y calcular el acimut, la distancia angular horizontal, y el otro lo realiza en sentido vertical para fijar su elevación. Muchas de las actuales antenas de radar llevan una batería con direccionamiento electrónico.

3.3.2. Receptor.

El receptor ideal debe ser capaz de amplificar y medir una señal muy débil con una frecuencia muy elevada. Como hasta ahora no se ha conseguido construir un amplificador móvil que cumpla esta función de forma satisfactoria, la señal se convierte a una frecuencia intermedia de 30 MHz. La altísima frecuencia de la señal del radar exige un oscilador y un mezclador con una precisión muy superior a la que se utiliza en los receptores normales de radio.

3.3.3. Tratamiento de la señal recibida.

La mayoría de los radares modernos convierten la señal analógica recibida a una secuencia de números por medio de un convertidor analógico digital. Un ordenador de alta velocidad se encarga de procesar esta secuencia y extraer la información relativa al objetivo. En primer lugar, la señal retorna de tierra, donde se eliminan los objetos irrelevantes mediante un filtro indicador de objetivo móvil (MTI). A continuación se fracciona la señal en componentes discretos de frecuencia por medio de un transformador rápido de frecuencias (FFT). Por último, una vez combinadas las señales de muchos pulsos, se determina el objetivo mediante el procesador de frecuencia constante de falsa alarma (CFAR).

Los sistemas de radar cuya función principal consiste en detectar objetivos tienen que indicar la presencia o ausencia de éstos. Si el objetivo se halla realmente presente, el radar tendrá que detectarlo correctamente o ignorarlo por error. Si el objetivo no está presente de verdad, el radar puede indicar que no hay presencia del objetivo o puede producir una falsa alarma. El CFAR tiene que ponderar de forma óptima las detecciones frente a las falsas alarmas.

3.3.4. Pantallas de radar.

La detección de objetivos, la velocidad y la posición se pueden sobreponer a un mapa. Ciertos radares aéreos o en órbita espacial procesan las señales que retornan de tierra y proyectan un mapa de alta resolución del terreno.

3.3.5. Modulador de impulsos.

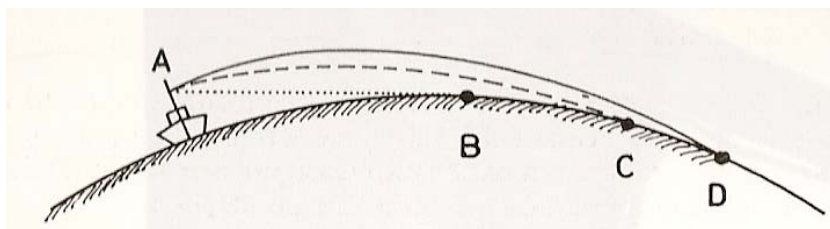
Todo equipo de radar normal posee otro componente importante: el modulador de impulsos. Este dispositivo se encarga de extraer continuamente corriente de una fuente de energía, como un generador, para alimentar el magnetrón del transmisor con impulsos del voltaje, potencia, duración e intervalo precisos. El impulso debe comenzar y finalizar de manera abrupta, pero la potencia y el voltaje no deben variar de forma apreciable durante el impulso.

3.4. Alcance

La potencia del emisor determina el mayor valor teórico del alcance, más allá del cual no es posible la recepción de ecos en condiciones normales de propagación. Dentro de dicho límite el alcance efectivo es función de las elevaciones de la antena y del blanco, así como de las propiedades reflectantes de este último.

3.4.1. Elevación de la antena

Las frecuencias empleadas hacen que las ondas se propaguen de forma parecida a la luz. Para una refracción normal la distancia del horizonte radar viene a ser un 6% mayor que la del horizonte visible de la elevación de la antena.



Donde:

- AB** es el horizonte geométrico.
- AC** es el horizonte visual.
- AD** es el horizonte radar.

3.4.2. Elevación del blanco

Todos los blancos que se encuentran por fuera del horizonte radar y por debajo de su prolongación no pueden producir ecos, salvo que su dimensión vertical les haga rebasar la zona de sombra. La distancia crítica a partir de la cual se empieza a verificar lo anterior es la del horizonte del blanco.

3.4.3. Alcance máximo

Su valor aproximado, para unas elevaciones concretas de la antena y del blanco, es la suma de las distancias a los horizontes respectivos.

3.4.4. Alcance mínimo

Su valor es función de la duración de las señales. Si, por ejemplo, éstas fueran de 0,05 micro-sg, se tendría una longitud de pulsación de 15 metros, pero como el tiempo que mide el radar corresponde a un trayecto doble (ida y regreso de la señal), la menor distancia posible se reduciría a 7,5 metros. Para valores inferiores a dicha cifra el eco se recibe a bordo antes de los 0,05 micro-sg, mientras todavía se está emitiendo con el receptor bloqueado. Las mismas consideraciones se pueden hacer para otras pulsaciones de duración distinta.

Por razones de orden práctico las distancias mínimas reales son algo mayores que sus valores teóricos, variando algo según los modelos de radar.

3.5. Discriminación

3.5.1. Discriminación en marcación

Es el ángulo mínimo a partir del cual se pueden distinguir en la pantalla dos blancos próximos, situados a la misma distancia. Su valor, que conviene sea lo más pequeño posible, viene dado por la amplitud del lóbulo principal, lo cual supone que la distancia mínima entre blancos que permite su discriminación disminuye al tiempo que la distancia radar.

3.5.2. Discriminación en distancia

Es la distancia mínima a partir de la cual pueden distinguirse en la pantalla dos blancos próximos, situados sobre la misma marcación. Su valor que conviene sea lo mas pequeño posible, es la mitad de la longitud del impulso.

3.6. Presentación de la imagen en pantalla

3.6.1. Características del blanco

Además de su elevación, que es fundamental para no quedar en la zona de sombra, la posibilidad de que los ecos puedan ser recibidos a bordo depende de sus propiedades reflectantes. Como factores más destacados se citan:

3.6.1.1. Inclinação.

Se llama así el ángulo horizontal que forma con el haz emisor la superficie reflectante principal del blanco, que será máxima para una inclinación de 90° y nula para 0°. Lo anterior justifica el que, en ocasiones, los blancos pequeños den ecos más intensos que otros mucho mayores.

3.6.1.2. Tamaño

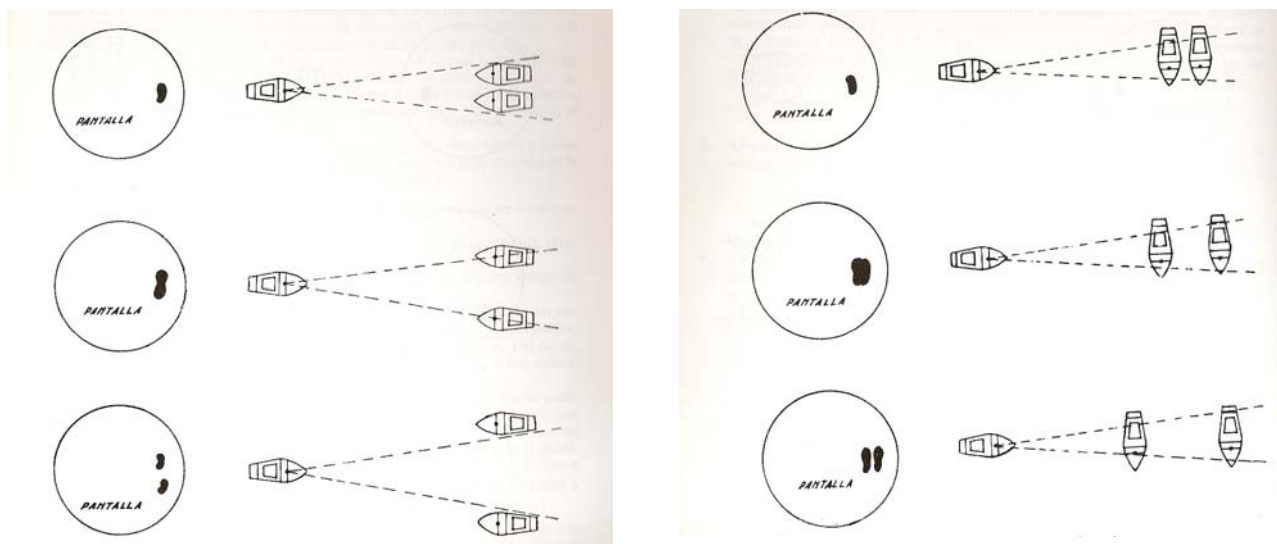
La energía reflejada en el plano horizontal aumenta con el tamaño de la superficie que el blanco presenta al haz emisor, hasta que llega un momento en el cual la intensidad del eco se estabiliza aunque el área de reflexión siga creciendo. Ello se debe a que la amplitud del haz, unos 2° , condiciona el valor máximo de la energía que puede incidir simultáneamente en el blanco.

3.6.1.3. Forma

Las superficies planas y perpendiculares al haz. de emisión reflejan muy bien las señales, produciendo ecos fuertes. La intensidad de éstos va disminuyendo conforme el ángulo de incidencia cambia y se vuelve más agudo.

Si el blanco está formado por dos superficies planas perpendiculares entre si, se logran buenos ecos en la mayoría de los casos, cualquiera que sea el ángulo de incidencia. Esto se debe a las reflexiones producidas entre los planos, que dan lugar a un eco paralelo y opuesto a la dirección de la señal radar.

Las superficies cóncavas producen generalmente buenos ecos, ocurriendo lo contrario con las convexas por su tendencia a dispersar en otras direcciones la energía reflejada. Este inconveniente es poco acusado en las cilíndricas, algo más en las esféricas, y grande en las cónicas.



3.6.2. Interpretación de los ecos

Esta operación debe llevarse cabo, a ser posible, por personas con experiencia, especialmente cuando se hacen notar las perturbaciones.

3.6.2.1. Línea de la costa.

Suelen acusarse los ecos de los blancos situados hasta 2 o 3 millas hacia el interior, siempre que la configuración del terreno lo permite. Si a mayor distancia se encuentra una elevación destacada, es muy probable que también se tenga eco, aunque no necesariamente de su punto más alto.

Cuando se navega a lo largo de una zona costera en la cual hay accidentes naturales que impiden la propagación de las señales, se apreciarán zonas de sombra, al tiempo que las imágenes de los blancos irán cambiando de aspecto, se perderán y aparecerán otras nuevas. Este cambio se hace más notorio si el rumbo es sensiblemente paralelo a la costa.

En los lugares de mareas de gran amplitud que dejan al descubierto grandes extensiones, la imagen de la pantalla en la pleamar puede ser muy distinta de la representada en la carta náutica (trazada para la bajamar).

3.6.2.1.1 Costa acantilada.

Se detecta a gran distancia, dando un eco en forma línea fina muy bien definida.

3.6.2.1.2 Costa en pendiente.

Se detecta a menos distancia que la acantilada, dando un eco de trazo más fuerte.

3.6.2.1.3. Costa baja.

Se detecta a distancias medias, dando un eco en forma de línea fina y suave.

3.6.2.1.4. Costa muy baja.

Se detecta a menos distancia que la baja, dando un eco de trazo más impreciso. Los bancos de arena, playas de poca pendiente, marismas y ciénagas aparecen normalmente entre 1 y 3 millas. Las dunas de arena situadas en el interior de estas costas se ven antes, sobre todo si tienen vegetación abundante (y más si son árboles).

3.6.2.1.5. Costa con puerto

Además de las peculiaridades propias del tipo de costa suelen destacar los muelles, pantalanes, instalaciones, etc., siempre que sean de alguna importancia y la distancia no sea muy grande. Si fuera del puerto se encuentran fondeados numerosos barcos relativamente próximos, podría darse el caso de que por falta de discriminación produjesen un eco continuo, dando una imagen deformada del perfil de la costa y adelantada hacia la mar.

3.6.3. Perturbaciones

3.6.3.1. Olas

La mar agitada produce alrededor del barco un gran número de pequeños ecos (sea clutter), que cambian de situación e intensidad a cada revolución de la antena. La densidad de los ecos puede ser tal, que impida la apreciación de los blancos de dimensiones reducidas situados entre ellos.

El tamaño de esta zona, para una determinada elevación de la antena, es función del tipo y altura de las olas, llegando hasta las 4 millas del barco cuando la mar es borrasca. Su forma es variable, con tendencia a ovalada y de mayor extensión hacia barlovento.

El empleo adecuado del dispositivo intinar (sea clutter) permite reducir apreciablemente este tipo de perturbación.

3.6.3.2. Precipitaciones

3.6.3.2.1. Lluvia.

Cuando es de alguna intensidad produce reflexiones que dan lugar a una imagen membranosa de contorno suave y cambiante, al tiempo que disminuye el brillo de los ecos situados en la zona afectada y en la prolongación de su demora. Sólo en los casos de una extraordinariamente densa se llegará a la pérdida de cualquier lipa de eco.

Las nubes y sistemas nubosos cargados de lluvia producen efectos análogos a los citados anteriormente, pudiéndose confundir con la línea de la costa si su altura es baja.

El empleo adecuado del dispositivo *antilluvia* permite reducir apreciablemente este tipo de perturbación.

3.6.3.2.2. Granizo.

Su apariencia en la pantalla es análoga a la de la lluvia, produciéndose ecos más débiles, salvo que el tamaño de las piedras sea granule.

3.6.3.2.3. Nieve.

Las perturbaciones que produce no son de importancia, salvocando la precipitación es muy intensa y se forman copos de gran tamaño.

3.6.3.3. Nieblas.

Reducen algo el alcance, especialmente en los climas fríos.

3.6.3.4. Refracción anormal.

Este fenómeno, que afecta al alcance, se produce cuando en una atmósfera sin turbulencias se superponen dos capas de aire claramente diferenciadas. Siempre que se observe algo raro en las distancias se procurara comprobarlas con otras conocidas, y se adoptarán las precauciones oportunas.

La super-refracción, que aumenta el alcance, se debe al desplazamiento de masas de aire caliente y seco sobre otras más frías y húmedas en contacto con la mar. Se da con relativa frecuencia en el Mediterráneo y en las costas occidentales de Africa.

La sub-refracción, que lo disminuye, tiene lugar cuando el aire frío esta arriba y el más caliente y húmedo debajo, tal como ocurre en las regiones polares sobre las corrientes templadas.

3.6.3.5. Ecos de barrido secundario.

En las situaciones de super-refracción los impulsos emitidos por el radar dan lugar a ecos de puntos situados mucho más lejos de su alcance máximo, que lógicamente no deben tener representación en la pantalla.

Pero si la distancia a que se encuentra el blanco es tal que el eco se recibe a bordo en el siguiente barrido de la antena, aparece su imagen en la demora correcta y a distancia distinta de la real. Esta anomalía puede darse también coincidiendo con el tercero y cuarto barrido posterior.

3.6.3.6. Lóbulos laterales.

Cuando se reflejan en la superficie del mar o en blancos próximos producen una serie de ecos secundarios, más débiles, situados simétricamente a cada lado del eco principal y a distancia correcta. Se identifican fácilmente, pudiéndose reducir algo sus efectos con el dispositivo *antimar* y con la ganancia.

3.6.3.7. Radiación.

Se manifiesta por una serie de radios luminosos, que ocupan toda la pantalla o un sector de ella. Generalmente se deben a contactos defectuosos en el sistema de rotación de la antena. Se distinguen fácilmente de las perturbaciones ocasionadas por el radar de otro barco, por el hecho de ser rectilíneas y de trazo continuo.

3.6.4. Ventajas y limitaciones del radar.

3.6.4.1. Ventajas:

- 1.- Puede usarse con visibilidad escasa o nula.
- 2.- Es suficiente un punto de la costa para obtener la situación.
3. Permite la obtención de líneas de posición y de situaciones de forma prácticamente continua.
4. En la mayoría de los casos la precisión es igual o superior a la de otros sistemas de navegación costera, especialmente con poca visibilidad.
5. Se puede utilizar a distancias mayores que las de otros sistemas de navegación costera.
6. Es de gran ayuda para maniobrar adecuadamente a otros barcos.
7. Permite localizar y seguir la trayectoria de los chubascos.

3.6.4.2. Limitaciones:

- 1.- Las impuestas por los alcances máximo y mínimo.
- 2.- Se ve afectado por diversas perturbaciones.
- 3.- Esta sujeto a fallos mecánicos y eléctricos.
- 4.- La interpretación de la imagen no es fácil siempre, incluso para personal adiestrado.
- 5.- Las marcaciones son menos precisas que las visuales.
- 6.- La identificación de los puntos de la costa puede resultar difícil en muchas ocasiones, por falta de correspondencia entre la imagen y la carta.
- 7.- Los blancos pequeños (botes, boyas, etc.) pueden no dar imagen en la pantalla, especialmente si hay bastante mar o están muy próximos.

3.6.5. Movimientos y presentaciones en el radar.

3.6.5.1. Movimiento relativo.

Los movimientos de los ecos representados en la pantalla del radar son movimientos relativos de los desplazamientos de los buques, unos con respecto a los otros.

3.6.5.2. Movimiento verdadero.

Los movimientos de los ecos representados en pantalla son los que están realizando, cada uno de ellos, sin estar relacionado con el movimiento de los demás. Es decir, podría decirse que son los movimientos de cada uno de los ecos con respecto al fondo marino.



3.6.5.3. Norte Arriba.

En la pantalla del radar, en la línea de fe, se representa la línea del Norte, sobre el círculo graduado de la pantalla, y marca hacia arriba. Con ello todos los rumbos y demoras, en ella representadas, serán los reales con respecto al punto cardinal Norte.

3.6.5.4. Rumbo arriba.

Se representa en la línea de fe de la pantalla, marcando hacia arriba, el rumbo que va realizando el buque, en su navegación.

3.6.5.5. Proa arriba.

Se representa en la línea de fe de la pantalla, marcando hacia arriba, el rumbo giroscópico que lleva la proa del barco.

3.6.5.6. CPA

Es la distancia mas corta a que pasaran dos barcos, y que viene representada en el radar del barco, si es ARPA, o bien es obtenida mediante el correspondiente calculo manual de la Cinemática correspondiente. Cuanto mas pequeña sea la CPA, mas riesgo de colisión tenemos.

3.6.5.7. TCPA

Es el tiempo que transcurrirá hasta que estemos en la CPA.

3.7. Ayudas radar

3.7.1. Estaciones radar costeras.

Son las instaladas en determinadas zonas de mucho tráfico con objeto de controlar la situación y los movimientos de los barcos, sirviendo de ayuda a la navegación. Pueden trabajar aisladamente o formando grupo, en cuyo caso se centraliza en una de ellas toda la información. Los resultados y recomendaciones se pasan por radio a los barcos o a los prácticos.

Su localización y características figuran en el libro de Radioseñales, a continuación de la sección dedicada a las balizas radar.

3.7.2. Balizas radar

Se llaman así a las balizas equipadas con unos dispositivos electrónicos productores de unas señales características que permiten su identificación en la pantalla del radar y facilitan al navegante la demora y la distancia, o sólo la demora.

La emisión de estas balizas tiene lugar en la banda de frecuencias radar, pudiendo cubrir todo el horizonte o parte del mismo. Sus alcances teóricos corresponden a la navegación costera, adecuándose en cada una de ellas a las particularidades de su emplazamiento y a la ayuda a la navegación que se pretende prestar.



3.7.3. Racon (radio beacon).

Es una baliza provista de un reflector electrónico que al recibir la señal radar la devuelve, amplificada, hacia el barco. La respuesta Racon en la pantalla puede ser:

- a) Varios segmentos pequeños de arcos concéntricos, situados sobre un sector determinado. La marcación se toma al centro del sector, y la distancia se mide al borde interior del arco más próximo.
- b) Un destello radial que se extiende desde la posición de la baliza hasta el borde de la pantalla.

La marcación se obtiene promediando el destello, y la distancia se mide a su punto de arranque.

3.7.4. Ramark (radio mark).

Su emisión es independiente de las señales radar, por lo cual esta baliza viene a ser una especie de radiofaro que materializa visualmente las marcaciones.

- a) Se acusa en la pantalla del radar apenas se esta dentro de su alcance efectivo, mediante una línea radial brillante que puede ser continua, de rayas, o puntos, o una combinación de rayas y puntos.
- b) La marcación se obtiene promediando la línea anterior, cuya la distancia solo se puede medir cuando se aprecia el eco de la estructura de la baliza.

3.7.5. Reflectores radar.

Están formados por tres planos metálicos, generalmente triangulares, que se cortan perpendicularmente entre sí. Estos triedros se caracterizan por devolver casi siempre la señal radar en dirección opuesta a la de llegada, al tiempo que mejoran notablemente la intensidad del eco (de un 60% a un 100%).

Los reflectores radar se utilizan como complemento de algunas boyas, instalándose en su parte superior. Para reducir el efecto del giro de las mismas, o de los cambios de marcación, suelen montarse conjuntos de ellos (clusters). También se emplean para reforzar la respuesta de algunos faros, marcas y embarcaciones menores.



4. **CORREDERA**

Se trata de un instrumento para medir distancias y velocidades en navegación, con respecto al agua. Los tipos de correderas más utilizados son la corredera mecánica o de patente (aunque cada vez menos) y la eléctrica.



4.1. **Corredera mecánica**

Consiste en una hélice, que va sujeta a un cabo unido a un cuentarrevoluciones hecho a base de engranajes. Entre la hélice y el contador se intercala un volante cuyo objeto es compensar las alteraciones momentáneas por medio de su inercia.

Una vez fuera de puerto se arría por la popa la hélice quedando el contador sujeto a bordo. Este contador marca la distancia navegada y, a veces, para facilitar su lectura, tiene repetidores eléctricos o electrónicos en el puente. El error de este tipo de correderas es muy pequeño, pues han sido ajustadas recorriendo distancias conocidas. El contador va montado en un pie que le facilita los movimientos horizontales para cambios de rumbo y balances y, los verticales, en caso de cabezadas. Lleva tres agujas indicadores, de las que una da una vuelta cada milla navegada, mientras que en la esfera pueden observarse las centésimas de milla. Otra de las agujas totaliza las millas de cero a cien; y una tercera totaliza las centenas de millas. El cabo empleado es trenzado y su longitud oscila entre los 70 y los 140 metros, dependiendo su longitud de la velocidad del buque.



4.2. **Corredera de presión**

Consiste en un tubo “pilot” que sobresale por debajo de la quilla unos 30 centímetros y que tiene un orificio sometido a la presión dinámica del agua (cuando el buque navega) y también a la presión hidrostática según la profundidad.

Más cerca de la proa se sitúa otro orificio o “Kingston” que comunica sólo la presión hidrostática.

El receptor de presiones colocado próximo a los orificios mide la diferencia entre las presiones recibidas por ambos conductos y actúa sobre una excéntrica que, a su vez, actúa sobre una varilla que transmite por medio de un presostato y un voltímetro, la velocidad del buque, instantánea y constantemente, a una escala graduada en nudos.

4.3. **Corredera electromagnética**

Consiste en un tubo de unos 40 centímetros con dos orificios, uno a proa y otro a popa por donde pasa el agua. Dentro del tubo va una pequeña hélice que gira al ser accionada por el agua. El eje de la hélice va conectado a un magneto, donde se origina una corriente eléctrica, que se lee en el voltímetro, con la escala graduada en nudos. A veces se produce una variante que consiste en que la hélice no va dentro del tubo, sino en el exterior del casco.

4.4. Coeficiente de corredera.

Ajustar la corredera consiste en encontrar la relación entre la velocidad verdadera y la velocidad marcada por la corredera, lo que es lo mismo, entre la distancia verdadera y la distancia marcada por la corredera.

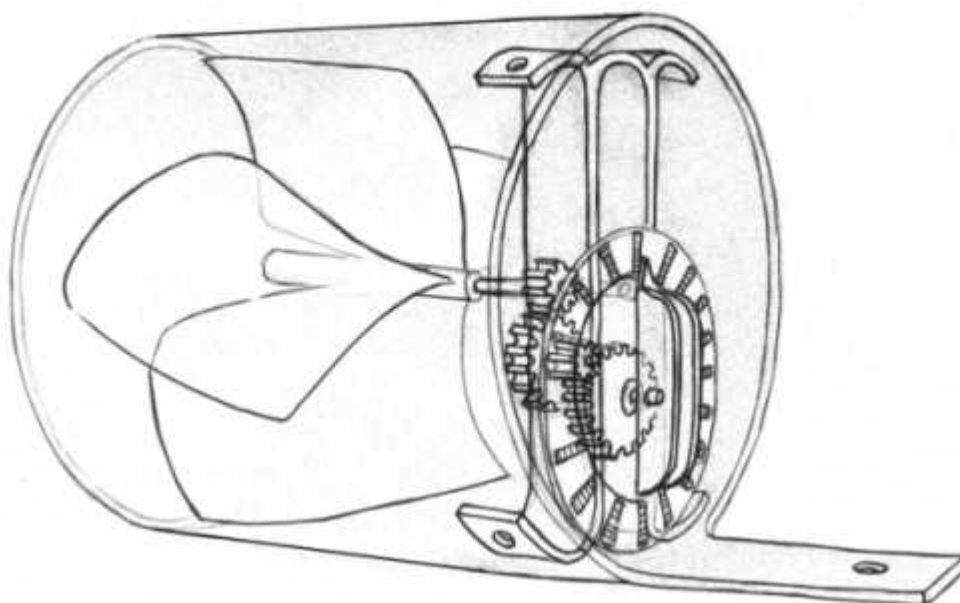
El coeficiente de corredera puede ser mayor, menor o igual a la unidad. Al multiplicar lo que marca la corredera por el coeficiente "K" nos dará la velocidad verdadera o la distancia verdadera recorrida.

Por ejemplo, un barco en el que la corredera marca 20 millas recorridas y el coeficiente es de 1,1 la distancia verdadera recorrida será $20 \times 1,1 = 22$ millas.

El coeficiente ha de calcularse en lugares de distancias conocidas como, por ejemplo, las Bases Medidas Oficiales, que son medidas exactas entre dos enfilaciones.

En España existen las de Ría de Ares y la de San Jorge, próximas a Ferrol; la de Stay Priegue, cerca de Vigo; la de Valencia (Puig); la de Terrosa-Palomas cerca de Cartagena; Castro Urdiales; Rota-Chipiona; Zahara de los Atunes en Cádiz; la de San Lorenzo-Quintres cerca de Gijón; y la de la Isleta en Gran Canaria.

Se hace el recorrido a un rumbo perpendicular a las líneas de enfilación que son paralelas y, dividiendo la distancia entre ellas por el tiempo transcurrido, desde que se cruza una hasta que se cruza la otra, nos dará la velocidad. Habiendo tomado las lecturas de la corredera en ambos momentos, nos dará la distancia por corredera y dividiendo esta distancia por el tiempo nos dará la velocidad de corredera. Dividiendo la velocidad del barco por la velocidad de corredera nos dará el coeficiente, que será igual a dividir la distancia real por la distancia de corredera.



5. ECOSONDA

5.1. Introducción

El hundimiento del trasatlántico Titanic en 1912, con la pérdida de 1.513 vidas humanas, tras chocar con un iceberg, despertó por primera vez el interés por detectar objetos bajo el agua. Un meteorólogo británico, L. F. Richardson, sugirió el empleo del eco como un posible medio para detectar icebergs, y el pionero de la radio Reginald A. Fessenden efectuó los primeros experimentos antes de la primera guerra mundial.

La determinación de la profundidad haciendo funcionar el equipo verticalmente desde el barco fue una aplicación crucial en tiempos de paz. Hacia 1930, los ecosondas reemplazaron el viejo método del lanzamiento del escandallo para determinar la distancia del fondo.

Desde 1960, la mayoría de los barcos de altura van provistos de un ecosonda de precisión. En la actualidad se utiliza el análisis por computadora para obtener una imagen instantánea del relieve bajo la quilla.



El ecosonda se ha convertido en un medio indispensable para determinar la posición, tamaño y profundidad de los obstáculos submarinos. Las compañías petrolíferas lo utilizan para vigilar los oleoductos submarinos y el movimiento de las masas de arena que pudieran dañarlos, y los arqueólogos marinos lo emplean en la búsqueda de restos de naufragios.

5.2. Fundamentos

El principio de funcionamiento de la ecosonda, es básicamente el mismo principio del sonar, transmitir fuertes impulsos sonoros para luego captar y clasificar los ecos que servirán para ubicar la situación del objeto que los produce.

La diferencia consiste en que, la ecosonda, mantiene la cara radiante (cristal), del transductor, siempre en posición vertical fija, dirigida hacia el fondo del mar, mientras que el transductor del sonar puede operar horizontal y lateralmente a voluntad.

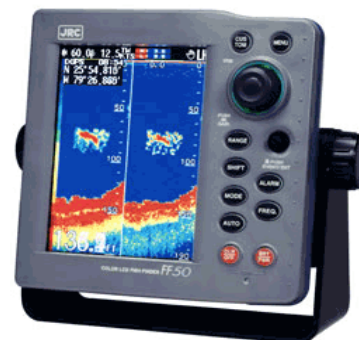
Al igual que el sonar, la eco-sonda consta de pantalla y de un "transductor". Normalmente la pantalla se instala en el puente de mando y está compuesto de un registrador, un transmisor y un receptor. El registrador hace funcionar el transmisor y marca el eco después de que el receptor lo ha amplificado cerca de un millón de veces. El transductor, que está instalado en el fondo de la embarcación, trabaja como un parlante para el transmisor y como un micrófono para el receptor.

En la unidad registradora, los ecos son marcados por una pluma o aguja que pasa sobre un papel especial o grabados en cinta magnética para su utilización digital.

El retardo del pulso sonoro enviado y recogido por el transductor es lo que permite calcular la profundidad utilizando la siguiente ecuación:

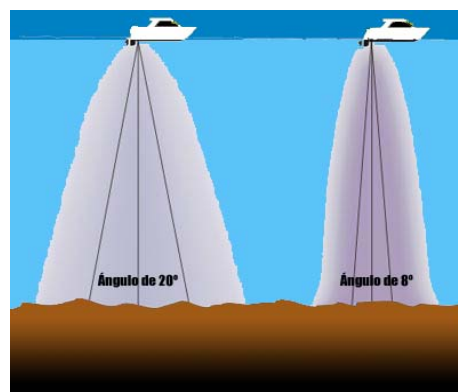
$$P = (V_s * t) / 2$$

donde V_s es la velocidad del sonido, t el tiempo transcurrido desde que se envió la señal hasta que se recibió de vuelta.



La emisión se realiza en una especie de cono, cuyo ángulo determina el área de cobertura de la superficie submarina barrida por la sonda. Cuanto mayor sea el ángulo mayor será el área cubierta.

Los ángulos de emisión van emparejados con la frecuencia de emisión. Para una frecuencia de 200 Khz se suele usar un ángulo de 20 grados. Para una frecuencia de 50 Khz se suele usar un ángulo de 30 a 45 grados.



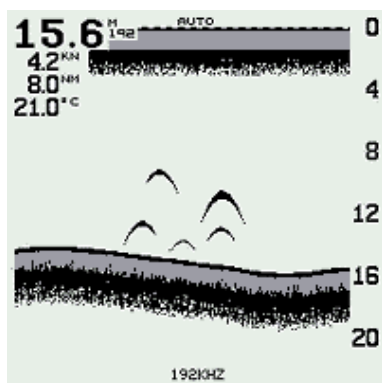
5.3. Ecogramas de fondo

Dependiendo del tipo de agua donde estemos usando nuestra sonda, obtendremos un mayor o menor rendimiento de la misma. El mejor medio de transmisión es sin lugar a dudas el agua dulce.

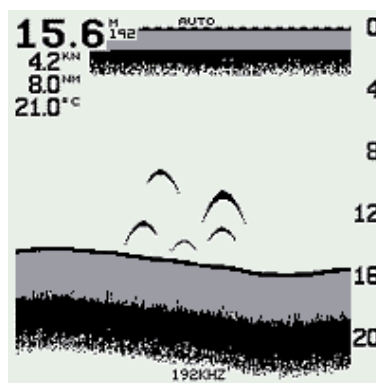
En agua salada sin embargo, el sonido es absorbido y reflejado por el material suspendido en el agua. Esto hace que las frecuencias se dispersen y no penetren de forma óptima. También influyen de forma negativa, las corrientes, los microorganismos, algas y placton, los minerales y sales suspendidas etc. Así podemos decir que cuanto mas salada sea el agua de una zona, peor será el rendimiento de nuestra sonda, y por tanto necesitaremos mas potencia. Si estamos en el Mediterráneo, necesitaremos mas potencia que si lo hacemos en las Islas Canarias. Esto tiene gran importancia cuando se habla de ecosondas destinadas a la pesca.

El fango, la arena, y la vegetación en el fondo absorben y dispersan la señal del sonar, reduciendo la fuerza del eco de vuelta. La roca, la pizarra, el coral y otros objetos duros reflejan la señal del sonar fácilmente.

Observemos la diferencia en la pantalla de la sonda. Un fondo suave, tal como fango, muestra como línea fina a través de la pantalla. Un fondo duro, tal como roca, muestra una línea ancha en la pantalla de la sonda.



Fondo blanco (arena, fango)



Fondo duro (Rocas)

En las sondas de color un fondo duro (Rocas) vendrá representado por un rojo intenso, y cuanto mas blando sea el mismo irá degradándose a marrón rojizo, marrón, marrón claro, amarillo etc.

6. VIDEO-PLOTTER Y SISTEMAS DE NAVEGACION

6.1. Cartas electronicas

Con el término cartas electrónicas se conocen varios tipos de presentaciones que pueden ser visualizadas en la pantalla de un ordenador mediante un programa de visualización de cartas, o mediante un Sistema de Información y Visualización de Cartas Electrónicas (ECDIS).

Dentro de las cartas electrónicas tenemos dos grupos principales.

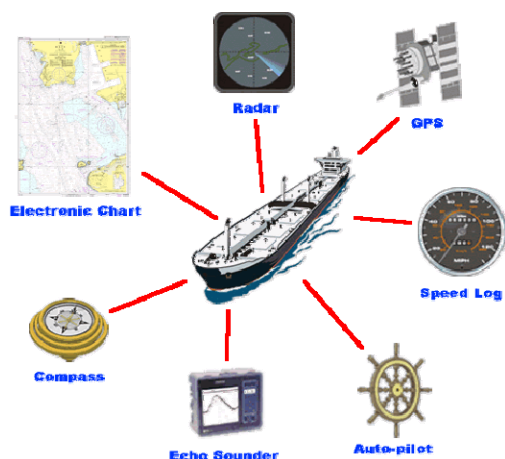
El primero lo constituyen las cartas rasterizadas o ráster (RNC), que son simplemente cartas oficiales de los servicios hidrográficos que cumplen con las especificaciones de la Organización Hidrográfica Internacional (OHI), que han sido escaneadas digitalmente con bastante resolución, bien directamente o bien utilizando las bases de color estable usadas en el proceso de impresión multicolor. El archivo digital resultante puede ser presentado en un sistema electrónico de navegación donde la posición del barco, derivada generalmente de sistemas de posicionamiento electrónicos, puede ser mostrada. Ya que los datos mostrados son meramente una fotocopia del la carta original, la imagen no tiene ningún tipo de “inteligencia”, y a parte de visualmente, no puede ser interrogada.

El segundo grupo lo constituyen las cartas electrónicas vectorizadas. Estas están compiladas a partir de una base de datos de diferentes ítems (objetos) digitalizados de carta que pueden ser presentados como una carta sin discontinuidades. Cuando son usadas en un equipo de navegación electrónico, los datos pueden entonces reensamblarse para mostrar, bien la carta completa o bien una combinación de datos seleccionados por el usuario.

Dentro de este grupo cabe distinguir dos subgrupos uno es el llamado cartas de navegación electrónica (ENC). Estas cartas se realizan conforme a la normativa de la OHI, la cual a establecido su estructura, contenido y formato mediante una norma llamada S-57. el empleo de estas cartas producidas por los servicios hidrográficos oficiales mediante un sistema ECDIS que cumpla con las normas de rendimiento de la OMI (Organización Marítima Internacional), está aceptado como equivalente legal a llevar (todo ello debidamente actualizado), “cartas náuticas, derroteros, libros de faros, avisos a los navegantes, tablas de mareas y cualquier otra publicación náutica necesaria para el viaje proyectado”(SOLAS).

Las ENC están elaboradas a partir del geoide WGS-84, con lo cual coinciden con la información del GPS, eso permite usar la carta en combinación con el GPS a la hora de localizar al buque en la misma y actualizar su posición. Por otra parte al elaborar las ENC, en muchos casos, se han realizado levantamientos hidrográficos nuevos, lo cual hace que las ENC sean más precisas y estén más actualizadas en algunos casos que su correspondiente en papel. Además de estas ventajas las ENC presentan otra serie de beneficios para el navegante. En primer lugar pueden ser actualizadas más rápidamente que las de papel, ya que simplemente se realiza una transferencia de datos, que puede ser, o bien mediante un disco de correcciones, o vía internet. Permiten un grado de zoom muy alto y rápido, durante la navegación al pasar de una zona a otra el sistema ECDIS la actualiza de manera que se utilice la carta (si se tiene) correspondiente a esa zona; todos los datos del derrotero, libro de faros, etc, se encuentran incluidos en la carta, de manera que usando una de sus funciones e “interrogando” a la carta podemos obtener dicha información.





También podemos agregar información a la carta: notas, zonas de pesca, de fondeo, etc. Otra función es la de poder dibujar la derrota en ellas, al acabar de dibujarla el ECDIS nos informará de los peligros de la derrota trazada o bien si no tiene o cruza algún peligro. Y otra ventaja es que pueden funcionar conjuntamente sobreponiendo la imagen radar que esté obteniendo el buque en ese momento, con lo cual es más fácilmente reconocible la costa y los buques que estén al alcance del radar, y también permite situar e identificar buques en la carta que estén equipados con el sistema de identificación de buques AIS.

Como hemos comentado, las ENC están realizadas por los servicios hidrográficos en el formato llamados S-57, con lo que los ECDIS, al utilizar las ENC, deben traducirlas al formato propio de cada sistema. Cuando las ENC están “traducidas” y siendo utilizadas por el ECDIS se les conoce como ENC del sistema o SENC. Esta traducción inicialmente la tiene que realizar el mismo ECDIS, pero en la actualidad se está comenzando a negociar el poder traducirlos “en tierra”, es decir, en la compañía fabricante del ECDIS, de manera que los ENC que vayan en el software del ECDIS sean exclusivamente SENC.

En un ECDIS podemos distinguir dos elementos principales:

1.- Las ENC o base de datos cartográfica, que elaboradas por los servicios hidrográficos correspondientes, contienen toda la información necesaria para la navegación, los mismos servicios hidrográficos se encargan de producir las correcciones necesarias para actualizar las ENC. De hecho las ENC se pueden corregir vía internet.

2.-El equipo necesario para la presentación al navegante de la información cartográfica (ENC) junto con información del propio barco como la posición GPS y datos de corredera y giroscópica, así como la información de la derrota planeada. Este sistema genera alarmas que informa al navegante de la aproximación a peligros de acuerdo a parámetros del propio buque como el calado. Asimismo tiene la capacidad para corregir las ENC de forma automática. Estos equipos son fabricados por empresas privadas del ramo de la navegación, y permiten emplear algunos de ellos, cartas ráster (RNC). Estas últimas sólo deben emplearse cuando no existan vectoriales correspondientes a esa zona, y deben ser usadas con las cartas de papel y derroteros y demás publicaciones obligatorias de derrota.

El desarrollo de las normas de la OMI y de la OHI sobre cartas electrónicas han tenido lugar durante los últimos 15 años. Durante este tiempo, algunos fabricantes de equipo empezaron a producir sistemas de presentación capaces de sobreponer la posición del buque en una “carta electrónica”. A estos sistemas se les denomina genéricamente como Sistemas de Cartas Electrónicas (ECS), son conocidas como “plotters” y se utilizan normalmente como cartas electrónicas producidas por compañías comerciales. Estas cartas no cumplen con la exigencia del convenio SOLAS y por lo tanto no eximen de llevar las cartas y el resto de publicaciones de derrota, y se deben emplear con cartas de papel oficiales y con derroteros, libros de faros, etc.

6.2. Plotters y cartas electrónicas

Es un representador gráfico de las cartas náuticas en la pantalla. Normalmente está incorporado al GPS o incluso a la sonda, con lo que nos da la información necesaria para navegar.

Con los sistemas ECDIS, que comienzan a ser obligatorios en algunos buques de nueva construcción, a partir del 1 de Enero de 2009 y se irán generalizando hasta el año 2017, poco a poco todos los demás sistemas irán decayendo poco a poco.

7. OTROS EQUIPOS NAUTICOS

7.1. Piloto automatico

El piloto automatico es un equipo que conectado al timon del buque y al sistema de orientación y gobierno del mismo; permite que, mediante su programación, el barco sea gobernado por él, sin la asistencia de ninguna persona.

En general, puede decirse que todos ellos funcionan de la misma forma. Un compás digital o magnetico, toma el rumbo del barco en todo momento y mediante un dispositivo electrónico, esta información es comparada con el rumbo que se desea mantener. La diferencia de ángulo es corregida mediante un dispositivo electromecánico o hidráulico que actuará sobre el timón.

Para que esto funcione es necesario que el sistema electrónico pueda conocer el ángulo que hace el timón, y para ello se instala un sensor de ángulo que mide la posición en la que este se encuentra.



El sistema electrónico de control es más complicado de lo que en un principio pudiera parecer. Cuando está corrigiendo el rumbo, debe tener en cuenta el tiempo de reacción de la pala del timón y dejar de corregir antes de llegar al rumbo correcto, pues si actuará corrigiendo hasta llegar al rumbo deseado, el barco seguiría girando por inercia, y entonces el piloto automático tendría que empezar a corregir en sentido contrario, en un bucle de sobre-control conocido como "lazo realimentado", y que daría como resultado una trayectoria zigzagueante.

7.2. Indicador de angulo de metida del timón.



Un sensor de ángulo que mide la posición en la que se encuentra la pala del timón, con respecto a la línea de crujía del barco, envía una señal proporcional al ángulo que forma esta con la crujía.



Esta señal es captada por un dispositivo electrónico que la representa sobre una escala angular, que nos indica el ángulo que tiene el timón en ese momento con respecto a la línea proa-popa en ese momento.

7.3. Indicador de revoluciones del motor

Es un indicador que nos muestra las RPM a que esta trabajando en motor del buque en cada momento. En la actualidad son digitales y con una exactitud de hasta la decima de rpm.

7.4. Indicador de angulo de paso de la helice.

Se trata de un indicador que nos muestra el ángulo de paso de la hélice en cada momento. Es utilizable solamente para hélices de ángulo de paso variable. Las hélices de paso fijo no precisan de este dispositivo ya que su paso no varía.

